

## Shape measuring machine of cross arm type detecting shape deviation with machine bed

Patent Number: DE4345094  
Publication date: 1995-07-06  
Inventor(s): ZIEGENBEIN RAINER (DE)  
Applicant(s): PERTHEN FEINPRUEF GMBH (DE)  
Requested Patent:  DE4345094  
Application Number: DE19934345094 19931231  
Priority Number(s): DE19934345094 19931231  
IPC Classification: G01B21/04; B23Q17/20  
EC Classification: B23Q1/00C, G01B5/008, B23Q1/62A5  
Equivalents:

---

### Abstract

---

A cross arm (42) is located on the second moving carriage (40), which at the end side is aligned for the reception of a scanning head, also adjusting units for adjusting the two carriages along their respective coordinate axes (X,Y). The first guides (9,10) arranged at one side of the machine bed (1) are aligned parallel to each other and carry guide tracks. The guide tracks are displaced against each vertically and horizontally. The first carriage (19) is supported on these at discrete bearing points (I to V). The mass point of gravity of the system, including both carriages (19,40), the column (20) and the cross arm (42), lies essentially on a vertical plane running between or behind the displaced guide tracks (14,15;16,17).

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

(17) **Patentschrift**  
(19) **DE 43 45 094 C2**

(51) Int. Cl. 8:  
**G 01 B 21/04**

**DE 43 45 094 C2**

(21) Aktenzeichen: P 43 45 094.6-52  
(22) Anmeldetag: 31. 12. 93  
(23) Offenlegungstag: 6. 7. 95  
(50) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 14. 12. 95

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

(72) Patentinhaber:

Feinprüf Perthen GmbH Feinmeß- und Prüfgeräte,  
37073 Göttingen, DE

(74) Vertreter:

Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(72) Erfinder:

Ziegenbein, Rainer, 37124 Rosdorf, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 41 32 333 A1  
DE 38 27 410 A1  
DE 35 45 330 A1  
DE 35 28 919 A1  
DE 32 08 412 A1  
DE 31 50 877 A1  
DE 28 21 360 A1

DE-Z: VDI-Z 134 (1992) Nr. 2 - Februar, S. 6 u. 7;

(54) Formmeßmaschine

**DE 43 45 094 C2**

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Formmeßmaschine in Auslegerbauart, mit einem eine Werkstückaufnahme tragenden Maschinenbett, mit einem an diesem in Richtung einer ersten horizontalen Koordinatenachse (Y) auf ersten Führungsmitteln verfahrbar gelagerten ersten Verschiebeschlitten, mit einer dem ersten Verschiebeschlitten zugeordneten vertikalen Säule, mit einem an dieser in Richtung einer zweiten vertikalen Koordinatenachse (Z) auf zweiten Führungsmitteln verfahrbar gelagerten zweiten Verschiebeschlitten, mit einem auf dem zweiten Verschiebeschlitten gelagerten Ausleger, der endseitig zur Aufnahme eines Tastkopfes eingerichtet ist sowie mit Stelleinrichtungen zur Verstellung der beiden Verschiebeschlitten längs ihrer jeweiligen Koordinatenachse.

Formmeßmaschinen finden beispielsweise in der Fertigungskontrolle eine weite Anwendung, um Oberflächen von Werkstücken kontinuierlich abzutasten (Scanning) und etwaige Formabweichungen vom Sollwertverlauf festzustellen. Die Meßergebnisse werden entweder auf Meßprotokollen aufgenommen oder unmittelbar in Signale umgewandelt, die zur Steuerung oder Beeinflussung von Fertigungsabläufen benutzt werden.

Sie sind u. a. in Portal- und in Auslegerbauweise gebräuchlich, wobei sich die Portalbauweise (vgl. bspw. DE 41 32 333 A1 insbesondere durch eine gute Zugänglichkeit des Meßortes an dem auf der Werkstückaufnahme aufgenommenen Werkstück auszeichnet. Um die erforderliche Stabilität des Maschinenaufbaus zu erreichen und damit den im Nanometerbereich liegenden Anforderungen an die Meßgenauigkeit zu genügen, sind die bekannten Formmeßmaschinen in Auslegerbauart typischerweise mit einem durch konstruktive Maßnahmen extrem steifen Maschinenbett ausgebildet, das häufig aus Granit hergestellt ist und auf dem über den ersten Verschiebeschlitten die vertikale Säule abgestützt ist, die ihrerseits wiederum entweder massiv oder in schwerer Guß- oder Stahlschweißkonstruktion aufgebaut ist. Die Führungsbahnen für den ersten Verschiebeschlitten liegen in der Regel – gegebenenfalls vertieft – in der waagrechten ebenen Tischfläche des meist parallelepipedförmigen Maschinenbettes. Ihr Abstand in der Horizontalebene ist mit Rücksicht auf die erforderliche Standsicherheit der Säule gewählt, wobei die Führungsmittel so ausgebildet sind, daß ein Verdrehen der Säule um ihre Vertikalachse bei der Horizontalverschiebung ausgeschlossen ist. Bekannt ist es auch aus der DE 32 08 412, die Führungsbahnen an einen einzigen massiven horizontalen Balken auszubilden, der an der Bedienungsseite abgewandelte Seite des Maschinenbettes etwa in der Höhe des Meßtisches angebracht ist. Ein solcher Balken ergibt notwendigerweise eine kleine Führungsbreite für den darauf gelagerten Verstellschlitten, abgesehen davon, daß seine verwindungssteife Aufhängung bei einem nicht massiven Maschinenbett aufwendig ist.

Für den an der Säule auf und ab beweglich geführten zweiten Verschiebeschlitten, der den Ausleger trägt, gelten grundsätzlich ähnliche Konstruktionsprinzipien, mit der Folge, daß sich insgesamt ein schwergewichtiger Maschinenaufbau mit entsprechend großer trager Masse aller bewegten Teile ergibt. Ein Beispiel einer solchen Formmeßmaschine in Auslegerbauart ist schematisch in der US-PS 4 621 434 veranschaulicht, bei der die vertikale Säule im Prinzip in Gestalt eines massiven Rahmens ausgebildet ist.

Abgesehen von dem mit einer solchen schweren Konstruktionsweise verbundenen hohen Kostenaufwand beeinträchtigt die notwendigerweise vorhandene große träge Masse der bewegten Teile das dynamische Verhalten der Formmeßmaschine. Verfahrbewegungen der Verschiebeschlitten, d. h. der Säule und des Auslegers können wegen der auftretenden Massenkräfte nur mit verhältnismäßig geringen Beschleunigungen bzw. Verzögerungen erfolgen, mit dem Ergebnis, daß die jeweils erforderlichen Einstell- und Nebenzeiten bestimmte Mindestwerte nicht unterschreiten können, die für eine Reihe von Anwendungsfällen als zu groß empfunden werden.

Davon abgesehen bedingt die nebeneinander liegende Anordnung der Führungsmittel für den die Säule tragenden ersten Verschiebeschlitten im Bereich der Tischfläche des Maschinenbettes eine entsprechende Tiefe des Maschinenbettes und damit einen beträchtlichen Platzbedarf für die ganze Formmeßmaschine. Grundsätzlich ähnliches gilt auch für eine aus der DE 28 21 360 A1 bekannte Koordinaten-Meßmaschine der sogenannten Pinolenbauart, bei der das Maschinenbett anschließend an den Meßtisch mit einer aufgenden, vertikalen Wand ausgebildet ist, auf deren dem Meßtisch zugewandten Vorderseite der Verstellschlitten angeordnet ist. Der Verstellschlitten ist auf zwei im Abstand zueinander angeordneten Führungsbahnen verschieblich gelagert, die sowohl horizontal als auch vertikal gegeneinander versetzt sind. Da der Massenschwerpunkt der den Verstellschlitten beinhaltenden Baugruppe oberhalb des Meßtisches vor der Wand liegt, ist der Verstellschlitten an seiner oberen Führung auch seitlich gefaselt. Diese Ausbildung des Maschinenbettes bedingt einen erheblichen Aufwand und einen beträchtlichen Platzbedarf für die ganze Maschine.

Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, eine Formmeßmaschine in Auslegerbauart zu schaffen, die sich durch einen einfachen platzsparenden Aufbau auszeichnet und die im Vergleich zu dem erläuterten Stand der Technik ein wesentlich verbessertes dynamisches Verhalten hat und damit eine Verkürzung der Neben- und damit der Zeit pro Meßzyklus insgesamt erlaubt.

Zur Lösung dieser Aufgabe weist die eingangs genannte Formmeßmaschine erfindungsgemäß die Merkmale des Patentanspruches 1 auf.

In einer bevorzugten Ausführungsform weisen die ersten Führungsmittel zwei Führungsbalken oder -schielen auf, die die Führungsbahnen bildende Flächen tragen und die eine rechteckige oder quadratische Querschnittsgestalt haben, wobei aber grundsätzlich auch andere Querschnittsprofilformen, einschließlich kreiszyllindrischer und dreieckförmiger in Frage kommen, so daß die Führungsschienen auch in Form von Prismen oder Hohlprofilen ausgebildet sein können. Durch die ersten Führungsmittel ist an der Rückseite des Maschinenbettes eine schräge Ebene definiert, die mit der Horizontalen einen Winkel von wenigstens  $20^\circ$  einschließt, der in einer praktischen Ausführungsform vorzugsweise bei  $60^\circ$  liegt.

Dadurch, daß der erste Verschiebeschlitten mit der Säule an der Rückseite des Bettes praktisch in einer "Schrägführung" verschieblich geführt ist, ergibt sich eine sehr platzsparende Anordnung für die Formmeßmaschine, wobei gleichzeitig im Vergleich mit dem Stand der Technik auf der Säule bei gleicher Führungslänge ein größerer Hub für den zweiten Verstellschlitten vorhanden ist. Zudem ist die Säule mit dem ersten Verschiebeschlitten an dem Maschinenbett sehr standsicher mit

weit auseinander liegenden Lagerstellen geführt, wobei die Betthöhe für die Führungslänge mit ausgenutzt wird, weil die Führungsmittel wenigstens eine untere Führungsbahn an der Maschinenbettrückseite in der Nähe der Aufstellfläche des Maschinenbettes und wenigstens eine andere obere Führungsbahn im wesentlichen in der Nähe der Maschinenbettoberteile aufweisen. Bei der neuen Konstruktion liegen der Massen- und der Reibungsschwerpunkt nahe beieinander, so daß sich sehr günstige dynamische Verhältnisse ergeben. Die beiden Schwerpunkte liegen auf oder in der Nähe der oberen Führungsmittel, wobei auch die Angriffsstelle der Stellseinrichtung für den ersten Verschiebeschlitzen in der Nähe dieser oberen Führungsmittel angeordnet ist, so daß sich zusammen mit der leichtgewichtigen Konstruktion der bewegten Teile hervorragende dynamische Eigenschaften der neuen Formmeßmaschine ergeben, die z. B. bei einer ausgeführten Maschine eine Umsteuerungsfrequenz von bis zu 50 Hz erlauben.

Die Formmeßmaschine zeichnet sich somit durch sehr gute Führungsverhältnisse sowohl für den ersten als auch für den zweiten Verschiebeschlitzen aus, wobei die Anordnung mit Vorteil derart getroffen ist, daß wenigstens einer dieser Verschiebeschlitzen auf den Führungsbahnen seiner zugehörigen Führungsmittel an fünf Lagerstellen abgestützt ist, die im wesentlichen auf den Schenkeln eines gedachten L liegen. Dabei können jeweils vier — gegebenenfalls paarweise einander gegenüberliegend angeordnete — Lagerstellen möglichst weit voneinander auf Führungsbahnen eines gemeinsamen Führungsmittels liegen, während die fünfte Lagerstelle durch das erwähnte Prinzip der L-förmigen Anordnung in größtmöglichen seitlichen Abstand davon angeordnet ist, derart, daß eine große Stabilität der geführten Teile gewährleistet ist. Durch die fünf zweckentsprechend angeordneten Lagerstellen erfolgt eine Fesselung des jeweiligen Verschiebeschlitzen in Bezug auf fünf Freiheitsgrade, während die Fesselung in Bezug auf den sechsten Freiheitsgrad vorzugsweise durch die Stelleinrichtung übernommen werden kann.

Die Säule ist in einer bevorzugten Ausführungsform im wesentlichen scheibenförmig mit quer zu den ersten Führungsmitteln verlaufend angeordneten Breitseiten sowie mit im wesentlichen keilförmigen Querschnitt ausgebildet. Ihre breitere Stirnfläche weist dabei zur Maschinenbettrückseite, so daß sich ein Höchstmaß an Steifigkeit ergibt. Von den erwähnten fünf Lagerstellen sind zweckmäßigerverweise drei unmittelbar an der scheibenförmigen Säule angeordnet, während die verbleibenden Lagerstellen (oder zumindest eine von diesen) im seitlichen Abstand von der Säule vorgesehen ist. Praktisch kann diese Anordnung derart verwirklicht werden, daß der erste Verschiebeschlitzen in der Draufsicht im wesentlichen von einem gedachten Dreieck umgrenzt ist, von dem eine Seite durch die Säule und eine daran anschließende Seite durch eine vorkragende Armkonstruktion gebildet ist, die endseitig die weitere Lagerstelle oder -stellen enthält und gegen die gegebenenfalls die Säule einseitig über zumindest einen Teil ihrer Höhe abgestützt ist.

Nach grundsätzlich ähnlichen Prinzipien ist mit Vorteil auch der zweite Verschiebeschlitzen aufgebaut. Er weist ein Lagerstellen tragendes Basisteil und einen daran nach unten ragend angeordneten Fortsatz auf, an dem wenigstens eine der übrigen Lagerstellen im vertikalen Abstand von den Lagerstellen des Basisteiles aufgenommen ist. Die vertikale Länge des Fortsatzes entspricht zweckmäßigerverweise etwa dem vertikalen Ab-

stand zwischen den ersten Führungsmitteln an dem Maschinenbett. Dadurch wird erreicht, daß für die Führungslänge des zweiten Verschiebeschlitzen die Höhe des Maschinenbettes mit ausgenutzt wird.

Um die träge Masse der bewegten Teile auf ein Minimum zu reduzieren, ist die Säule in der Regel weitgehend als Hohlkörper ausgebildet, während die erwähnte vorkragende Armkonstruktion des ersten Verschiebeschlitzen und der nach unten ragende Fortsatz des zweiten Verschiebeschlitzen ebenfalls aus leichtgewichtigen Konstruktionselementen nach Art eines hohen Gehäuses aufgebaut sind.

Dafür können, abgesehen von Streben oder Gitterwerkstrukturen, als Konstruktionselemente dünne Bleche oder faserverstärkte Kunststoffplatten Verwendung finden, wobei sich Kunststoffverbundplatten mit Kohlefaser verstärkung als besonders zweckmäßig erwiesen haben.

Die scheiben- oder leistenförmig ausgebildete Säule, die auf einer Seite gegen die vorkragende Armkonstruktion abgestützt ist, bietet auf der anderen Seite eine freie Breitseite, die auf der Rückseite des Maschinenbettes im Bereich der ersten Führungsmittel praktisch bis in die unmittelbare Nähe der Aufstellfläche des Maschinenbettes herunterragt und die damit eine volle Ausnutzung der durch die Länge der Säule gegebenen maximalen Hublänge gewährleistet, ohne daß dadurch Einbußen hinsichtlich der Führungslänge des zweiten Verschiebeschlitzen in Kauf genommen werden müssen. Zur Führung des zweiten Verschiebeschlitzen weisen die an der Säule vorgesehenen zweiten Führungsmittel vertikale Führungsbahnen auf, die im Bereich dieser freien Breitseite und auf einer daran anschließenden Stirnseite der Säule angeordnet sind.

Auf dem neben der Säule an deren freien Breitseite auf und ab verfahrbar gelagerten zweiten Verschiebeschlitzen ist mit Vorteil ein in Richtung einer dritten Koordinatenachse (R) verfahrbarer dritter Verschiebeschlitzen gelagert, der den Ausleger trägt und dem an dem zweiten Verschiebeschlitzen angeordnete dritte Führungsmittel zugeordnet sind. Diese Führungsmittel können ein im Querschnitt im wesentlichen dreieckförmiges Führungsteil aufweisen, das vorzugsweise als Hohlkörper ausgebildet ist, der auf dem Basisteil des zweiten Verschiebeschlitzen angeordnet ist und Führungsbahnen trägt, die in zueinander winklig verlaufenden Ebenen liegen. Auf dem Führungsteil sitzt der dritte Verschiebeschlitzen, der das Führungsteil damit teilweise übergreift und gegen dessen Führungsbahnen wiederum an fünf diskreten Lagerstellen abgestützt ist, die mit Rücksicht auf die Erzielung einer möglichst großen Führungslänge zweckentsprechend angeordnet sind. Sie liegen wiederum auf den Schenkeln eines gedachten L und bewirken eine Fesselung des dritten Verschiebeschlitzen in Bezug auf fünf Freiheitsgrade; in Bezug auf den sechsten Freiheitsgrad übernimmt die Stelleinrichtung die Fesselung.

Der auf dem dritten Verschiebeschlitzen angeordnete Ausleger kann zur Erzielung einer weitmöglichen Gewichtersparnis nach Art eines Hohlprofils ausgebildet sein, das mit Vorteil über eine Kollisionsschutzeinrichtung an dem dritten Verschiebeschlitzen gelagert ist. Schließlich erlaubt es die spezielle Ausbildung der Säule und der Verschiebeschlitzen bei der neuen Formmeßmaschine das Maschinenbett in der Draufsicht im wesentlichen L-förmig auszubilden, wobei die Werkstückaufnahme im Bereich eines Schenkels des L angeordnet ist und die Führungsmittel an der Rückseite des

Maschinenbettes im Bereich des anderen Schenkels des L vorgesehen sind. Abgesehen von dem geringen Platzbedarf führt diese Form des Maschinenbettes zu der Möglichkeit einer ergonomisch günstigen Bedienung der Maschine mit kurzen Griffwegen für die Bedienungsperson, während andererseits eine für die Temperaturstabilität der ganzen Formmeßmaschine gegebenenfalls erforderliche Kapselung mit einfachen geometrischen Verhältnissen für das Gehäuse so angeordnet werden kann, daß die Werkstückaufnahme und das zu vermessende Werkstück jederzeit frei zugänglich bleiben.

Das Konstruktionsprinzip der neuen Meßmaschine kommt, wie erläutert, ohne schwere Konstruktionsteile für die Verschiebeschlitten, die Säule und dergleichen aus. Diese Elemente sind in Leichtbauweise auf optimale Steifigkeit ausgelegt, so daß sich schon von der Konstruktion her eine hohe Meßgenauigkeit ergibt. Um unvermeidbare Formabweichungen der Führungsbahnen oder Formveränderungen der Säule und der Verschiebeschlitten insoweit auszugleichen, daß sie keinen Einfluß auf das Meßergebnis haben, ist in einer bevorzugten Ausführungsform die Anordnung derart getroffen, daß zumindest mit dem Maschinenbett und der Säule gerade Normale verbunden sind, die parallel zu der jeweils entsprechenden Koordinatenachse ausgerichtet und von Lager- und Führungskräften im wesentlichen frei gehalten sind. Diese Normale sind über ihnen starr zugeordnete, auf eine Relativbewegung einander anschließender Normale zu einander ansprechende Sensoren miteinander gekoppelt, durch die eine solche Relativbewegung nach Größe, Art und Richtung feststellbar ist und die entsprechende Signale an einen Rechner abgeben, der das Meßergebnis oder die jeweilige Lage des Tasters im Raum korrigierende Korrekturgrößen errechnet. Wesentlich ist, daß durch diese Normale ein von dem eigentlichen Transportsystem für die Verschiebeschlitten und den Taster abgekoppeltes eigenes Führungs- oder Bezugssystem gebildet ist, das von an den Verschiebeschlitten angeordneten Abtasteinrichtungen oder Sensoren unter Erzeugung von Korrektursignalen für den Rechner laufend abtastbar ist. Ist die Formmeßmaschine mit einem dritten Verschiebeschlitten ausgerüstet, so ist an dem zweiten Verschiebeschlitten ebenfalls ein parallel zu der entsprechenden Koordinatenachse ausgerichtetes Normal befestigt, das mit dem an der Säule angeordneten Normal über entsprechende Sensoren gekoppelt ist, die ausgangsseitig mit dem Rechner verbunden ist. Mit anderen Worten heißt dies, daß auch dieses Normal Teil des erwähnten Bezugssystems ist. Die Sensoren sind an den Kopplungsstellen zweier Normale jeweils derart voneinander beabstandet und ausgerichtet angeordnet, daß sie jeweils wenigstens zwei wirklich zueinanderstehende Seiten eines der Normale abtasten, derart, daß die für die mögliche Relativbewegung der beiden jeweils einander zugeordneten Normale kennzeichnenden, translatorischen Bewegungskomponenten sowie Kipp- und Drehbewegungskomponenten durch entsprechende Signale erfaßt werden.

Die neue Formmeßmaschine kann im übrigen für jede Art von Oberflächenabtastung eingesetzt werden, wozu in ihren Ausleger jeweils ein entsprechender Taster eingesetzt wird. Bei Verwendung eines 3-D-Tasters kann sie auch als Koordinatenmeßmaschine Verwendung finden.

In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel des Gegenstandes der Erfindung dargestellt. Es zeigen:

- Fig. 1 eine Formmeßmaschine gemäß der Erfindung in perspektivischer teilweise schematischer Darstellung,
- Fig. 2 die Formmeßmaschine nach Fig. 1 in der Draufsicht,
- Fig. 3 die Formmeßmaschine nach Fig. 1 in einer Seitenansicht,
- Fig. 4 die Formmeßmaschine nach Fig. 1 mit abgenommenem zweitem Verschiebeschlitten in der Z-Richtung, in einer perspektivischen Darstellung entsprechend Fig. 1,
- Fig. 5 die Formmeßmaschine nach Fig. 1 mit abgenommenem erstem Verschiebeschlitten in der Y-Richtung, in einer perspektivischen Darstellung entsprechend Fig. 1,
- Fig. 6 in einer Seitenansicht entsprechend der Blickrichtung VI der Fig. 2 im Ausschnitt mit schematisch lediglich mit ihrem Umriss angedeuteter Säule zur Veranschaulichung der Führungsmittel für den ersten Verschiebeschlitten in einem anderen Maßstab,
- Fig. 7 den ersten Verschiebeschlitten der Formmeßmaschine nach Fig. 1 in einer perspektivischen Darstellung, in einem schräg von links unten nach rechts oben gehenden Blickrichtung unter Veranschaulichung der Unterteile der von der Säule seitlich vorkragenden Armkonstruktion, in einem anderen Maßstab,
- Fig. 8 den ersten und zweiten Verschiebeschlitten der Formmeßmaschine nach Fig. 1, in perspektivischer Darstellung bei abgenommenem Ausleger in einem anderen Maßstab,
- Fig. 9 die Anordnung nach Fig. 8 in der Draufsicht,
- Fig. 10, 11 die Anordnung nach Fig. 8 in zwei verschiedenen Seitenansichten,
- Fig. 12 die Anordnung nach Fig. 9 in einem anderen Maßstab sowie im Ausschnitt zur Veranschaulichung von Einzelheiten der Führungsmittel für den zweiten Verschiebeschlitten in der Draufsicht entsprechend Fig. 9,
- Fig. 13 den zweiten Verschiebeschlitten der Formmeßmaschine nach Fig. 1 in vereinfachter perspektivischer Darstellung und in einem anderen Maßstab,
- Fig. 14 den zweiten Verschiebeschlitten nach Fig. 13 mit aufgebautem Normal unter Weglassung des nach unten gerichteten Fortsetzes in perspektivischer Darstellung,
- Fig. 15 das aus drei Normalen gebildete Führungssystem der Formmeßmaschine nach Fig. 1 in einer perspektivischen Darstellung und in einem anderen Maßstab und
- Fig. 16 eine Einzelheit der Halterung eines Normals nach Fig. 15 im axialen Schnitt, in einer Seitenansicht und in einem anderen Maßstab.
- Die in der Zeichnung dargestellte Formmeßmaschine in Auslegerbauart weist, wie insbesondere aus den Fig. 2 und 5 zu erkennen, ein in der Draufsicht im wesentlichen L-förmiges Maschinenbett 1 auf, das in Guß- oder Stahlschweißkonstruktion ausgeführt ist. Das Maschinenbett 1 ist gegen den Fußboden über eine elastische Dreipunktlagerung abgestützt, von der eine Auflagerstelle bei 2 in Fig. 1 dargestellt ist. Sie verfügt über einen als Gummimetalteil ausgebildeten Aufstellfuß 3, der über eine Stellspindel 4 höhenverstellbar in einer entsprechenden seitlichen Ausnehmung 5 des Maschinenbettes 1 aufgenommen ist. Auf der horizontalen ebenen Tischfläche 6 des einen Schenkels des L-förmigen Maschinenbettes 1 ist eine in Gestalt eines Runddrehisches 7 ausgebildete Werkstückaufnahme angeordnet, in die ein zylindrisches Werkstück 8 eingesetzt ist, das von der Formmeßmaschine gerade vermessen werden soll.

An der Rückseite des anderen Schenkels des L-förmigen Maschinenbettes 1 sind zwei parallele horizontal ausgerichtete Führungsschienen 9, 10 quadratischer Querschnittsgestalt vorgesehen, die in den entsprechenden Aufnahmen 11, 12 (Fig. 6) des Maschinenbettes 1 gelagert sind. Die beiden Führungsschienen 9, 10 bilden erste Lagermittel, die sowohl in Horizontalrichtung als auch in Vertikalrichtung gegeneinander versetzt angeordnet sind, so daß durch sie an der Rückseite des Maschinenbettes 1 eine in Fig. 6 bei 13 strichpunktiert angedeutete schräge Ebene definiert ist, die mit der Horizontalen einen Winkel von wenigstens  $20^\circ$  — hier  $60^\circ$  — einschließt.

Jede der beiden aus Stahl hergestellten Führungsschienen 9, 10 trägt zwei ebene nach oben bzw. außen weisende Führungsbahnen 14, 15 bzw. 16, 17, die jeweils einen Winkel von  $90^\circ$  miteinander einschließen und von denen sich, wie beispielsweise Fig. 1 zeigt, die Führungsbahnen 14, 15 der oberen etwas oberhalb der Tischfläche 6 liegenden oberen Führungsschiene 9 fast über die gesamte Länge des zugeordneten Schenkel des Maschinenbettes 1 erstrecken. Die Führungsbahnen 16, 17 der unteren in unmittelbarer Nähe der Aufstellfläche des Maschinenbettes 1 angeordneten Führungsschiene 10 sind kürzer (vergleiche Fig. 1), erstrecken sich aber auch im wesentlichen über die Länge der kürzeren Führungsschiene 10. Im Bereich der nach außen weisenden Führungsbahn 17 der unteren Führungsschiene 10 ist an dieser eine vorstehende Randleiste 18 befestigt, deren Bedeutung im einzelnen noch erläutert werden wird.

Auf den von den beiden Führungsteilen 9, 10 gebildeten ersten Führungsmitteln ist ein erster Verschiebeschlitten 19 längs einer ersten Koordinatenrichtung (Y) längsverfahrbar gelagert. Der insbesondere aus den Fig. 4, 7 ersichtliche erste Verschiebeschlitten 19 weist eine im wesentlichen scheinelformige vertikale Säule 20 auf, die mit ihren Breitseiten quer zu der Koordinatenachse Y orientiert angeordnet ist. Die Säule 20 ist als Hohlkörper dünnwandig aus entsprechenden Leichtmetallteilen zusammengeschweißt; sie hat eine im wesentlichen keilförmige Querschnittsgestalt, wobei ihre breitere Stirnseite 21 zur Maschinenbettkrückseite weisend angeordnet ist. Sie ragt bis in die unmittelbare Nähe der Aufstellfläche des Maschinenbettes 1 nach unten und übergreift, wie aus den Fig. 4, 6 hervorgeht, die Führungsbahn 17 der unteren Führungsteile 10. Anschließend an die hintere Stirnseite 21 ist die Säule 20 unten entsprechend der rückseitigen Kontur des Maschinenbettes gestaltet, derart, daß die obere Führungsschiene in einer etwa rechteckigen Aussparung 22 aufgenommen ist und die vordere Stirnwand 23 der Säule 20 mit der Rückwand 24 einer in der Oberseite des rückwärtigen Schenkels des Maschinenbettes 1 parallel zu der oberen Führungsschiene 9 verlaufend angeordneten rinnenartigen Vertiefung 25 fluchtet.

Auf der der Werkstückaufnahme 7 abgewandten Seite ist an die Säule 20 eine horizontal vorkragende Armkonstruktion 26 angeschlossen (Fig. 7), die eine in der Draufsicht im wesentlichen dreieckförmige Gestalt aufweist und sich mit einem horizontalen platten- oder rahmenförmigen Konstruktionselement 27 über die gesamte Breite der Säule 20 erstreckt. An das dreieckförmige Konstruktionselement 27 schließen sich auf der Ober- und Unterseite im wesentlichen dreieckförmige Abstützelemente 28, 29 für die Säule 20 an, die schräg zu dem oberen und unteren Säulenende verlaufen und damit die insbesondere aus Fig. 7 zu entnehmende gehäuseartige Konstruktion für den ersten Verschiebeschlitten

ten 19 ergeben. In der Draufsicht ist dieser Verschiebeschlitten 19 ersichtlich im wesentlichen von einem gedachten Dreieck umgrenzt, von dem eine Seite durch die Säule 20 und eine daran anschließende Seite durch entsprechende Teile der Armkonstruktion 26 gebildet ist.

Die Konstruktionselemente 27, 28, 29 der Armkonstruktion 26 bestehen aus leichtgewichtigem Material, insbesondere aus kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffplatten, die in geeigneter Weise gegebenenfalls unter Verwendung von Versteifungsstreben miteinander verklebt oder sonst wie verbunden sind. Grundsätzlich wäre auch eine entsprechende Gitterkonstruktion für die sich an die Säule 20 anschließenden Teile des ersten Verschiebeschlittens 19 denkbar.

Der erste Verschiebeschlitten 19 ist auf den durch die beiden Führungsteile 9, 10 gebildeten ersten Führungsmitteln an fünf diskreten Lagerstellen gelagert, die so verteilt angeordnet sind, daß sich einerseits eine große Führungslänge und andererseits eine Fesselung des Verschiebeschlittens 19 in Bezug auf fünf Freiheitsgrade ergibt.

Jede dieser Lagerstellen ist aus einem aus Gleitlagermaterial bestehenden Lagerelement 30 und einem diesem benachbarten Haltemagnet 31 zusammengesetzt, wie dies exemplarisch für alle Lagerstellen in Fig. 12 veranschaulicht ist. Das Lagerelement 30 sitzt auf einem zylindrischen Bolzen 320, der in eine entsprechende Bohrung des jeweiligen Verschiebeschlittens eingesetzt ist. Zwischen dem Bolzen 320 und dem Lagerelement 30 ist eine Kipplagerung vorgesehen, die eine einwandfreie Ausrichtung des Lagerelementes 30 auf die jeweilige zugehörige Führungsbahn gewährleistet, so daß an der Lagerstelle keinerlei Verwindungskräfte entstehen können. Der zugeordnete Haltemagnet 31 ist ein Permanentmagnet, der ebenfalls in eine entsprechende Bohrung des jeweiligen Verschiebeschlittens eingesetzt ist und die für die jeweilige Lagerstelle erforderliche Vorspannung erzeugt, unter deren Wirkung das Lagerelement 30 satt gegen die zugehörige Führungsbahn angepreßt gehalten wird.

In den Fig. 7 bis 11 (und 13, 14) sind die Lagerelemente 30 und die Haltemagnete 31 der besseren Übersichtlichkeit wegen nicht im Einzelnen eingezzeichnet. Die Lagerstellen sind lediglich durch die zur Aufnahme je eines zylindrischen Bolzens 320 und eines Haltemagneten 31 dienenden Bohrungen 32, 33 angedeutet, wobei diese Lagerstellen ihrerseits für den ersten Verschiebeschlitten 19 in den zugehörigen Figuren mit I bis V bezeichnet sind.

Insbesonders die Fig. 6, 7 zeigen, daß die Lagerstellen I, II und III, IV an zwei prismatischen Lagerböcken 34, 35 vorgesehen sind, die beide auf der Ebene der Unterseite des horizontalen Konstruktionselementes 27 der Armkonstruktion 26 angeordnet sind, und von denen der Lagerbock 34 im Bereich der Säule 20 liegt, derart, daß die Lagerstellen I, II unmittelbar an der Säule 20 sich befinden. Auch die Lagerstelle V liegt im Bereich der Säule 20 und zwar an dem unteren Ende.

Die oberen Lagerstellen I, II und III, IV sind jeweils paarweise einander gegenüberliegend angeordnet und liegen auf den ihnen zugeordneten Führungsbahnen 14, 15 der oberen Führungsschiene 9, während die untere Lagerstelle V auf der nach außen weisenden Führungsbahn 17 der unteren Lagerschiene 10 sich abstützt. Wie aus Fig. 7 zu entnehmen, liegen damit die Lagerstellen I, II und III, IV in verhältnismäßig großem gegenseitigem Abstand auf einem (horizontalen) Schenkel eines ge-

dachten L, dessen anderer Schenkel nach unten weist; auf ihm liegt die untere Lagerstelle V.

Unter der Wirkung ihres Gewichtes ruht somit die Säule 20 mit dem ersten Verschiebeschlitzen 19 über die Lagerstellen I, II und III, IV auf den Führungsbahnen 14, 15 der oberen Führungsschiene 10, während sie über die Lagerstelle 5 an ihrer Unterseite in unmittelbarer Nähe der Aufstellfläche des Maschinenbettes 1 lediglich seitlich gegen die Führungsbahn 17 der Führungsschiene 10 abgestützt ist.

Jeder der Lagerstellen I bis V sind hintergriffige Halteschenken 36, 37 (vergleiche beispielsweise Fig. 6) zugeordnet, von denen die Halteleiste 36 mit der Randleiste 18 zusammenwirkt und deren Aufgabe darin besteht, bei Überschreiten der Haltekraft der Haltemagnete 31 zu verhindern, daß sich einer der Verschiebeschlitzen an der jeweiligen Lagerstelle von der zugehörigen Führungsbahn abhebt.

Beispielsweise aus Fig. 1, 4 ist zu entnehmen, daß auf zweiten vertikalen Führungsmitteln 39 der Säule 20 ein zweiter Verschiebeschlitzen in Richtung der Z-Koordinatenachse verfahrbar gelagert ist. Der zweite Verschiebeschlitzen 40 trägt seinerseits einen in Richtung der R-Koordinatenachse verschieblich gelagerten dritten Verschiebeschlitzen 41, auf welchem ein Ausleger 42 angeordnet ist, der endseitig einen mit 43 bezeichneten Taster hält, welcher mit einem Tastarm 44 die Form der Innenwandung einer Bohrung 45 des Werkstückes 8 abtastet. Die Anordnung und Ausbildung der drei Verschiebeschlitzen 19, 40 und 41 sowie der Säule 20 ist derart getroffen, daß der Massenschwerpunkt des aus diesen Teilen einschließlich des Auslegers 42 bestehenden Systems in einer quer zu den Führungsteilen 9, 10 verlaufenden Vertikalebene in einem in Fig. 6 durch einen Pfeil A angedeuteten Bereich zwischen den beiden Führungsteilen 9, 10 — oder gegebenenfalls bezogen auf Fig. 6, rechts hinter der unteren Führungsteile 10 liegt. Die Lage des Massenschwerpunktes hängt etwas von der jeweiligen Stellung, insbesondere des dritten Verschiebeschlittens 41 ab, doch gelangt der Massenschwerpunkt nie in den Bereich vor der oberen Führungsschiene (in Fig. 6 links von derselben), so daß die Säule 20 nach vorne kippen könnte.

Zu Folge dieser Lage des Massenschwerpunktes hinter der oberen Führungsteile 9 ist sichergestellt, daß das Gewicht des ganzen Systems über die vier Lagerstellen I bis IV vollständig von der oberen Führungsteile aufgenommen wird, während die untere Lagerstelle V unter Schwerkraftwirkung gegen die zugeordnete Führungsbahn 17 angepreßt gehalten wird. Wegen des großen vertikalen Abstandes zwischen den Lagerstellen I bis IV und der Lagerstelle V auf der einen Seite sowie wegen des großen horizontalen Abstandes zwischen den Lagerstellen I, II und III, IV auf der anderen Seite ergibt sich eine extrem große Führungslänge für den ersten Verschiebeschlitzen 19, die ein hohes Maß an Standfestigkeit und Stabilität gewährleistet. Da die Armkonstruktion 26 (Fig. 7) an der Säule 20 lediglich auf der der Werkstückaufnahme 7 abgewandten Seite vorkragt und die untere Lagerstelle V unmittelbar an der Stirnseite 21 der Säule 20 angeordnet ist, bietet die Säule 20 auf einer Breitseite ungehinderten Platz für die Aufnahme der beiden Verschiebeschlitzen 40, 41 sowie des Auslegers 42, während andererseits die untere Führungsteile 10 sich lediglich über einen Teil der Länge des Maschinenbettes 1 zu erstrecken braucht.

Die erwähnte Auflagerung des Systems auf der oberen Führungsteile 9 hat zur Folge, daß auch der Rei-

bungsschwerpunkt für die Bewegung des Systems längs der Y-Achse in der Nähe der oberen Führungsschiene 9 in dem im Fig. 6 durch einen Pfeil B angedeuteten Bereich zwischen den beiden Führungsschienen 9, 10 liegt.

Wie die praktische Erfahrung an ausgeführten Formmeßmaschinen gezeigt hat, liegen der Massenschwerpunkt und der Reibungsschwerpunkt innerhalb eines verhältnismäßig engen Bereiches nebeneinander. Um nun bei dem Verfahren des Systems in der Y-Achse möglichst geringe Kipp- und Drehmomente zu erzeugen, ist die Angriffsstelle für die Stelleinrichtung in dieser Koordinatenachse in den erwähnten Bereich oder zumindest in dessen Nähe gelegt. Diese Angriffsstelle ist durch eine Spindelmutter 46 (Fig. 6) gebildet, welche mit der Säule 20 verbunden ist und auf einer horizontalen Gewindespindel 47 (Fig. 1) eines Kugelschraubtriebes angeordnet ist, die ihrerseits im Bereich ihrer beiden Enden über entsprechende Wälzläger in Lagerbügeln 48, 49 drehbar gelagert ist, welche auf an dem Maschinenbett 1 vorgeschenen Lagerkonsole 50 festgeschraubt sind. Ein Elektromotor 51 dient zum Antrieb der Gewindespindel 47 und damit zum Verfahren des Säule 20 enthaltenden Systems in der Y-Richtung.

Über die Spindelmutter 46 bewirkt die Kugelrollspindel 47 die Fesselung des ersten Verschiebeschlittens 19 in Bezug auf den sechsten Freiheitsgrad.

Die an der Säule 20 vorgesehenen zweiten Führungsmittel 39 für den zweiten Verschiebeschlitzen 40 weisen, wie insbesondere im Detail aus Fig. 8, 12 zu ersehen, vier vertikale Führungsbahnen 52, 53, 54, 55 auf, von denen die Führungsbahn 52 im Eckbereich an der breiten Stirnfläche 21 der Säule, die Führungsbahn 53 anschließend an die Führungsbahn 52 auf der der Werkstückaufnahme 7 zugeordneten freien Breitseite 56 der Säule 20 und die beiden Führungsbahnen 54, 55 an einem auf die freie Breitseite 56 aufgesetzten leistenartigen Führungsteil 57 im Bereich der schmalen Stirnseite 58 der Säule 20 angeordnet sind.

Da die Führungsbahnen 52 bis 55 aus nichtmagnetischem Material bestehen, sind in ihrer Nähe jeweils zugeordnete, an der Säule 20 verankerte vertikale Stahlleisten 59 vorgesehen, die mit den entsprechenden Haltemagneten 31 in bereits grundsätzlich erläuteter Weise zur Erzeugung der für die jeweiligen Lagerstellen erforderlichen Haltekraft zusammenwirken.

Wie beispielsweise insbesondere die Fig. 8 bis 13 erkennen lassen, weist der zweite Verschiebeschlitzen 40 ein im wesentlichen tischartiges horizontales Basisteil 60 auf, an das sich unten ein kastenartiger, in der Seitenansicht im wesentlichen dreieckförmiger Fortsatz 61 anschließt, dessen Länge etwa der Höhe des Maschinenbettes 1 oder etwa dem vertikalen Abstand zwischen den beiden Führungsteilen 9, 10 oder der Höhe des Maschinenbettes 1 entspricht.

An dem Basisteil 60 und am unteren Ende des Fortsatzes 61 sind zwei Lagerböcke 62, 63 angeordnet (Fig. 13), die zwei in einer gemeinsamen Vertikalebene liegende rechtwinklig zu der Längserstreckung des Basisteils 60 verlaufende Führungsseiten 64, 65 aufweisen, in deren Bereich Lagerelemente 30 und Haltemagnete 31 angeordnet sind, wie dies durch die Aufnahmebohrungen 32, 33 für diese Teile angedeutet ist. Ersichtlich liegen die im Bereich der Breitseite 56 der Säule 20 liegenden Lagerstellen im Bereich des Basisteils 60 näherungsweise auf dem Schenkel eines gedachten L, auf dessen anderen nach unten weisenden Schenkel eine Lagerstelle IX liegt, die ebenfalls auf der Führungsbahn 53 auf der Breitseite 56 der Säule 20 abgestützt ist, während die

beiden rechtwinklig dazu liegenden Lagerstellen XII, XIII an den Lagerböcken 62, 63 auf der Führungsbahn 52 an der Stirnseite 21 der Säule 20 liegen. Wegen des großen horizontalen Abstandes der Lagerstellen VI und VIII bzw. XII und VII sowie des ebenfalls großen vertikalen Abstandes zwischen den Lagerstellen VI und IX bzw. XII und XIII ergibt sich für den zweiten Verschiebeschlitten 40 ebenfalls eine sehr große Führungslänge. Der Verschiebeschlitten ist über die erwähnten Lagerstellen in Bezug auf fünf Freiheitsgrade gefesselt; bezüglich des sechsten Freiheitsgrades erfolgt die Fesselung wiederum durch die Verstelleinrichtung, die eine an dem Basisteil 60 angeordnete Spindelmutter 66 und eine diese durchquerende vertikale Gewindespindel 67 aufweist. Die Gewindespindel 67 ist vor der Breitseite 56 liegend einenends an einem am oberen Ende der Säule 20 befestigten Lagerbock 68 und andererseits in einem den elektrischen Antriebsmotor enthaltenden Gehäuse 69 (Fig. 8) drehbar gelagert, das ebenfalls an der Säule 20 befestigt ist und aus Gewichtsgründen in der Nähe des unteren Endes der Säule 20 in dem Bereich zwischen den beiden Führungsteilen 9, 10 angeordnet ist.

Wie beispielsweise aus Fig. 1 zu entnehmen, ragt das Basisteil 60 mit seinem Fortsatz 61 nach hinten über die Stirnfläche 21 der Säule 20 und die Rückseite des Maschinenbettes 1 vor, wobei wie bereits erwähnt, über die Länge des Fortsatzes 61 die durch die Maschinenbett-höhe gegebene Führungslänge ausgenutzt wird. Durch diese Gewichtsverteilung wird erreicht, daß die Gewindespindel 67 an dem zweiten Verschiebeschlitten 40 ebenfalls in der Nähe dessen Reibungs- und Massenschwerpunkts angreift und somit minimale Kipp- und Drehmomente erzeugt.

Auf dem horizontalen Basisteil 60 des zweiten Verschiebeschlittens 40 ist ein nach Art eines im Querschnitt dreieckförmigen Hohlkörper ausgebildetes Führungsteil 70 befestigt, das ebenso wie die Teile des Fortsatzes 61 und gegebenenfalls das Basisteil 60 aus Platten eines kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffes hergestellt ist. Der zweite Verschiebeschlitten ist deshalb insgesamt ebenfalls sehr leichtgewichtig konstruiert, um seine träge Masse auf ein Minimum zu reduzieren.

Das Führungsteil 70 trägt im Bereich seiner oberen Kante zwei benachbarte horizontale leistenförmige Führungsbahnen 71 (Fig. 13), die beispielsweise aufgeklebt sind und die in Ebenen liegen, welche einen Winkel von 90° miteinander einschließen. Außerdem ist auf der der Säule 20 abgewandten Seite auf dem Führungsteil 70 in unmittelbarer Nähe des Basisteils 60 eine dritte horizontale Führungsbahn 72 vorgesehen.

Auf diesen Führungsbahnen 71, 72 ist der dritte Verschiebeschlitten 41 in der R-Richtung verschieblich gelagert. Dieser dritte Verschiebeschlitten 41 weist ein ebenfalls aus leichtgewichtigem Material vorzugsweise dünnen kunststofffaserverstärkten Kunststoffplatten bestehendes etwa quaderförmiges Gehäuse 73 (Fig. 1) auf, auf dessen Oberseite der Ausleger 42 montiert ist. Wie insbesondere den Fig. 10, 11 zu entnehmen, sind in dem Gehäuse 73 fünf Lagerstellen XIV bis XVIII angeordnet, von denen die Lagerstellen XIV, XV und XVI, XVII jeweils paarweise einander gegenüberliegend im horizontalen Abstand auf den oberen beiden Führungsteilen 71 liegen, während die fünfte Lagerstelle XVIII im vertikalen Abstand unterhalb der vorderen Lagerstelle XIV sich gegen die untere Führungsbahn 72 abstützt. Der dritte Verschiebeschlitten 41 ist damit wiederum ähnlich wie der erste Verschiebeschlitten 19 in Bezug auf fünf Freiheitsgrade auf dem Führungsteil 70 gefes-

sel. Seine Fesselung bezüglich des sechsten Freiheitsgrades erfolgt durch die Stelleinrichtung, die wiederum eine Gewindespindel 74 aufweist (Fig. 1), die an ihren beiden Enden auf dem Führungsteil 70 drehbar gelagert und die einemends durch einen Antriebsmotor 75 angetrieben ist. Auf der Gewindespindel sitzt eine Spindelmutter 76 (Fig. 11), die mit dem Gehäuse 73 verbunden ist.

Die Ausbildung der Lagerstellen XV bis XVIII ist grundsätzlich ähnlich jener der Lagerstellen I bis V, so daß sich ein nochmaliges Eingehen darauf erübrigt. Auch bei diesem Verstellschlitten greift die Gewindespindel 74 in der Nähe des Reibungs- und Massenschwerpunktes des Verschiebeschlittens an, um ein Minimum an Kipp- und Drehmomenten zu erzeugen.

Der auf dem Gehäuse 73 angeordnete Ausleger 42 ist in Gestalt eines zylindrischen Rohres aus formstabilen faserverstärktem Kunststoffmaterial ausgebildet. Das Rohr ist auf dem Gehäuse über Lagerteile 77, 78 (Fig. 1) befestigt, die Kollisionsschutzeinrichtungen enthalten, derart, daß bei einer Kollision des Tasters 43 oder des Auslegers 42 mit einem Hindernis der Ausleger von dem Gehäuse 73 freikommt und gleichzeitig eine Notabschaltung für die Stellantriebe der Maschine wirksam wird.

Im Inneren des Auslegers 42 ist ein Antriebsmechanismus für den Taster 43 untergebracht, der es erlaubt, diesen um eine raumfeste Achse 79, die windschief zu dem Tastarm 44 liegt, zu verdrehen, um damit verschiedene Lagen des Tastarmes für die jeweilige Abtastung erzeugen zu können. Der Antriebsmechanismus für die Verstellung des Tasters 43 ist bei 80 angedeutet (Fig. 1).

Die beschriebene Formmeßmaschine zeichnet sich durch einen verhältnismäßig einfachen Aufbau mit geringer trager Masse der bewegten Teile aus. Der Aufbau ist insgesamt stabil und steif. Um die Anforderungen bei der Herstellungsgenauigkeit der Führungsbahnen und der auf diesen geführten Teile der Verschiebeschlitten auf einem kostengünstigen Niveau zu halten, sind besondere Maßnahmen zur Bahnkorrektur an den einzelnen Führungen vorgesehen. Auf diese Weise werden fertigungsbedingte Abweichungen (translatorischer und rotatorischer Art) der Führungselemente, die zu Abweichungen von der exakt gewünschten Bahn führen, ebenso kompensiert wie Störgrößen, die durch Schwerpunktveränderung zufolge von Beschleunigungskräften bei raschen Stellbewegungen etc. auftreten. Weitere Störgrößen entstehen durch Umwelteinflüsse. So bewirken Temperaturänderungen oder Temperaturgradienten ebenfalls eine Deformation der Führungselemente; sie führen damit auch zu Abweichungen von der Sollbahn der bewegten Elemente, die die Meßgenauigkeit beeinflussen.

Um die Anforderungen an die Führungsqualitäten des Führungssystems in den verschiedenen Achsen (Y, Z und R) der Formmeßmaschine nicht zu hoch werden zu lassen, ist die Formmeßmaschine mit einem eigenen Bezugssystem ausgerüstet, das im wesentlichen unabhängig von dem "Transportsystem" des Führungssystems ist. Mit anderen Worten, das Führungssystem ist in ein "Bezugssystem" und ein lediglich die Transportkräfte aufnehmendes "Transportsystem" aufgeteilt.

Das Bezugssystem stellt die Präzision der Führung und deren Lage in Bezug auf andere Achsen sicher. Es ist selbst keinen größeren Kräften ausgesetzt und so beschaffen, daß seine Geometrie langzeitstabil und wenig temperaturabhängig ist. Das eigentliche Transportsystem, das im Vorstehenden anhand der konstruktiven

Gestaltung der Formmeßmaschine ausführlich beschrieben wurde, braucht nur noch geringere Anforderungen bezüglich seiner Führungseigenschaften zu erfüllen, d. h. es kann beispielsweise ohne Justageelemente steif aufgebaut werden, während die eigentlichen Lagedelemente 30, 320; 31 kostengünstig ausgeführt werden können.

Das Bezugssystem, dessen grundsätzlicher Aufbau insbesondere in den Fig. 14 bis 16 veranschaulicht ist, besteht aus drei Normalen 81, 82, 83, die jeweils von im Querschnitt rechteckigen Profilschienen gebildet sind, die wenigstens auf zwei einander benachbarten Seitenfläche genaue gerade Abtastbahnen 84, 85 tragen. Diese prismatischen Körper können auch in Form von Linealen massiv oder wie dargestellt als Hohlkörper ausgebildet sein. Ihr Material ist so gewählt, daß sie langzeitstabil und wenig temperaturabhängig sind.

Das parallel zur Y-Achse ausgerichtete erste Normal 81 ist in der rinnenartigen Vertiefung 25 (Fig. 1, 6) parallel zu und im Abstand vor der oberen Führungsschiene 9 auf dem Maschinenbett 1 gelagert. Dabei ist das Normal 81 auf zwei beabstandeten im wesentlichen punktförmigen Lagerstellen 86, 87 (Fig. 3, 6) aufgelagert, die eine Lagerpfanne oder ein Lagerprisma und eine Lagerkugel aufweisen, um das Normal 81 von dem Maschinenbett 1 abgekoppelt zu halten. Seitlich ist das hochkant stehende Normal 81 an einer Lagerstelle 88 über einen Lagerbügel 89 (Fig. 6) gehalten. Durch diese Dreipunktlagerung ist gewährleistet, daß sich Formänderungen des Maschinenbettes 1 nicht auf das Normal 81 übertragen können.

Das auf die Z-Achse ausgerichtete vertikale Normal 82 ist in grundsätzlich ähnlicher Weise an der vorderen Stirnseite der Säule 20 so befestigt, daß Formänderungen der Säule 20 nicht auf das Normal 82 übertragen werden können. Wie die Fig. 6 und 15 zeigen, trägt das Normal 82 an seinem unteren stirnseitigen Ende formstabile angeschraubte Winkelteile 90, die beidseitig des Normals 82 seitlich vorragend genau rechtwinklig zu diesem ausgerichtet sind. Sie werden ergänzt durch einen Winkelansatz 91, der ebenfalls stabil und genau maßhaltig in Fortsetzung des Normals 82 an diesen befestigt ist.

Die Winkelteile 90 und der Winkelansatz 91 übergreifen drei Abtastbahnen 84, 85 des ersten Normals 81 in der aus Fig. 15 zu entnehmenden Weise. An ihnen sind fünf Weglangen-Sensoren angeordnet, deren Lage und Wirkrichtung jeweils durch einen Pfeil 92a bis 92c ange deutet ist. Die von den fünf Sensoren bei 92a bis 92c abgegebenen Wegsignale, die jeweils den Abstand zu der zugeordneten Abtastbahn 84 bzw. 85 an der jeweiligen Meßstelle angeben, erlauben es jede Relativbewegung zwischen den beiden Normalen 81, 82 an der Kopplungsstelle nach Lage und Richtung exakt zu erfassen. Sie werden einem Rechner zugeleitet, der daraus entsprechende Korrekturwerte für das Meßergebnis oder für die räumliche Lage des Tasters 43 berechnet.

Mit dem vertikalen Normal 82 ist das auf die R-Achse ausgerichtete horizontale Normal 83 des dritten Verschiebeschlittens 41 in entsprechender Weise gekoppelt, wozu insbesondere auf die Fig. 14 und 15 Bezug genommen wird.

Das horizontale Normal 83 trägt an seiner dem Normal 82 zugewandten Stirnseite ein starr befestigtes formstabiles Winkelstück 93, das das Normal 82 auf seiner Vorderseite umfaßt und dessen Abtastbahnen 84, 85 übergreift. Die zugehörigen Sensoren sind in Fig. 14 mit 94a bis 94e bezeichnet, wobei der Sensor 94e auf einer

dem Winkelansatz 91 der Fig. 15 entsprechenden starren Arm 95 sitzt, der formstabil an der Stirnseite des Normals 83 befestigt ist. Auch hier erlauben die von den fünf Sensoren 94a bis 94e abgegebenen Lagesignale, die den Abstand an der jeweiligen Meßstelle zu der zugeordneten Abtastbahn 84 bzw. 85 des Normals 82 angeben, eine nach Größe und Richtung exakte Berechnung einer Relativbewegung zwischen dem Normal 83 und dem vertikalen Normal 82 festzustellen und für die Korrektur zu verwenden.

Das Normal 83 ist auf dem dritten Verschiebeschlitten in der aus Fig. 14 ersichtlichen Weise an zwei beabstandeten punktförmigen Lagerstellen 96, 97 auf dem Basisteil 60 abgestützt, wobei die Lagerstelle 97 eine Lagerpfanne und eine darin eingreifende Lagerkugel und die Lagerstelle 96 ein Lagerprisma und eine ebenfalls darin eingreifende Lagerkugel aufweist. Auf diese Weise ist sichergestellt, daß sich Formänderungen des Basisteils 60 und damit des dritten Verschiebeschlittens 41 nicht auf das Normal 83 übertragen können.

Die seitliche Halterung des Normals 83 ist in Fig. 14 im einzelnen nicht dargestellt. Sie erfolgt ähnlich wie in Fig. 6 an der Lagerstelle 88 für das Normal 81 veranschaulicht, in der aus Fig. 16 ersichtlichen Weise, die kurz anhand des Normals 81 erläutert werden soll: In die entsprechende Seitenwand des Normals 81 ist ein aus Stahl bestehender, beidseitig parallele geschliffene Lagerflächen 98 tragender Stopfen 99 eingesetzt, der beidseitig zwischen Lagerkugeln 100 festgeklemmt ist, die mit ihren Mittelpunkten auf einer gemeinsamen Achse 101 liegend in Kugelpfannen 102 aufgenommen sind, von denen eine in einem Druckstück 103 und die andere in einem ortsfesten Halter 104 sitzt, der in eine entsprechende Gewindebohrung des Lagerbügels 89 eingeschraubt ist. Durch entsprechende Bohrungen 105 verlaufende Zuganker 106, die durch Bohrungen 107 in der gegenüberliegenden Wand des Normals 81 zugänglich sind, sind das Druckstück 103 und der Halter 104 gegeneinander verspannt. Dazwischenliegende Druckfedern 108 gewährleisten eine federnde Anpressung der beiden Lagerkugeln 100 an die Lagerflächen 98.

Da sich die federbelasteten Lagerkugeln 100 auf den Lagerflächen 98 frei abrollen können und im übrigen eine genau punktförmige Halterung des Normals 81 bewirken, können Formänderungen des Maschinenbettes 1 und des Lagerbügels 89 nicht auf das Normal 81 übertragen werden.

Das aus den Normalen 81 bis 83 in der beschriebenen Weise aufgebaute, von dem Transportsystem unabhängige Bezugssystem wird von an den Verschiebeschlitten angebrachten Sensoren abgetastet, die laufend den Abstand zu dem Bezugssystem messen und entsprechende Bahnkorrektursignale an einen Rechner liefern, der daraus die notwendigen Korrekturwerte für das Meßergebnis erzeugt. Diese Sensoren sind für den dritten Verschiebeschlitten 41 in Fig. 15 bei 110 und 111 dargestellt. Sie umfassen wiederum fünf Meßpunkte 110a bis 110d sowie 111a, die in Fig. 15 durch Pfeile angegeben sind und deren Verteilungen und Meßrichtung so gewählt ist, daß sich damit die Bahnabweichung des Verschiebeschlittens nach Größe und Richtung im Raum eindeutig bestimmen läßt.

#### Patentansprüche

1. Formmeßmaschine in Auslegerbauart, mit einem eine Werkstückaufnahme tragenden Maschinenbett, mit einem an diesem in Richtung einer ersten

horizontalen Koordinatenachse (Y) auf ersten Führungsmitteln verfahrbar gelagerten ersten Verschiebeschlitten, mit einer dem ersten Verschiebeschlitten zugeordneten vertikalen Säule, mit einem an dieser in Richtung einer zweiten vertikalen Koordinatenachse (Z) auf zweiten Führungsmitteln verfahrbar gelagerten zweiten Verschiebeschlitten, mit einem auf dem zweiten Verschiebeschlitten gelagerten Ausleger, der endseitig zur Aufnahme eines Tastkopfes eingerichtet ist sowie mit Stelleinrichtungen zur Verstellung der beiden Verschiebeschlitten längs ihrer jeweiligen Koordinatenachse, dadurch gekennzeichnet, daß die an einer Seite des Maschinenbettes (1) angeordneten, parallel zueinander ausgerichteten ersten Führungsmittel (9, 10) sowohl in Vertikalrichtung als auch in Horizontalrichtung gegeneinander versetzt angeordnete Führungsbahnen tragen, auf denen der erste Verschiebeschlitten (19) an diskreten Lagerstellen (I bis V) abgestützt ist und von denen wenigstens eine untere Führungsbahn (17) an der der Werkstückaufnahme abgewandten Maschinenbettrückseite in der Nähe der Aufstellfläche des Maschinenbettes (1) und wenigstens eine andere obere Führungsbahn (14; 15) in der Nähe der Maschinenbettobерseite angeordnet ist und daß der Massenschwerpunkt des zumindest aus den beiden Verschiebeschlitten (19, 40) und der Säule (20) sowie des Auslegers (42) bestehenden Systems zwischen oder hinter den gegeneinander versetzten Führungsbahnen auf der der Werkstückaufnahme abgewandten Maschinenrückseite liegt.

2. Formmeßmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die ersten Führungsmittel zwei Führungsbalken oder -schielen (9, 10) aufweisen, die die Führungsbahnen (14, 15; 16, 17) bildende Flächen tragen.

3. Formmeßmaschine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Führungsbalken oder -schielen (9, 10) eine im wesentlichen rechteckige, prismatische oder quadratische Querschnittsgestalt aufweisen.

4. Formmeßmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß durch die ersten Führungsmittel an der Rückseite des Maschinenbettes (1) eine schräge Ebene (13) definiert ist, die mit der Horizontalen einen Winkel von wenigstens 20° einschließt.

5. Formmeßmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Angriffsstelle (46) der Stelleinrichtung (47, 51) für den ersten Verschiebeschlitten (19) in der Nähe der oberen Führungsmittel (9) angeordnet ist.

6. Formmeßmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens einer der Verschiebeschlitten (19; 40; 41) auf den Führungsbahnen seiner zugehörigen Führungsmittel an fünf Lagerstellen abgestützt ist, die im wesentlichen auf den Schenkeln eines gedachten L liegen.

7. Formmeßmaschine nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils vier Lagerstellen (I bis IV) auf Führungsbahnen (14, 15) eines gemeinsamen Führungsmittels (9; 20; 70) liegend angeordnet sind.

8. Formmeßmaschine nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die vier Lagerstellen jeweils paarweise einander gegenüberliegend angeordnet

sind.

9. Formmeßmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Säule (20) im wesentlichen scheibenförmig mit quer zu den ersten Führungsmitteln (9, 10) verlaufend angeordneten Breitseiten ausgebildet ist.

10. Formmeßmaschine nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Säule (20) im Querschnitt im wesentlichen keilförmig ausgebildet ist.

11. Formmeßmaschine nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens drei Lagerstellen (I, II, V) unmittelbar an der scheibenförmigen Säule (20) angeordnet sind und daß wenigstens eine weitere Lagerstelle (III; IV) im seitlichen Abstand von der Säule (20) angeordnet ist.

12. Formmeßmaschine nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Verschiebeschlitten (19) in der Draufsicht im wesentlichen von einem gedachten Dreieck umgrenzt ist, von dem eine Seite durch die Säule (20) und eine daran anschließende Seite durch eine vorkragende Armkonstruktion (26) gebildet ist, die endseitig wenigstens eine weitere Lagerstelle (III; IV) enthält.

13. Formmeßmaschine nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Säule (20) einseitig über zumindest einen Teil ihrer Höhe gegen die Armkonstruktion (27, 28, 29) abgestützt ist.

14. Formmeßmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Verschiebeschlitten (40) ein Lagerstellen (VI-VIII) tragendes Basisteil (60) und einen daran nach unten ragend angeordneten Fortsatz (61) aufweist, an dem wenigstens eine der weiteren Lagerstellen (IX; XIII) im vertikalen Abstand von den Lagerstellen des Basisteils (60) aufgenommen ist.

15. Formmeßmaschine nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die vertikale Länge des Fortsatzes (61) etwa der Höhe des Maschinenbettes (1) oder etwa dem vertikalen Abstand zwischen den ersten Führungsmitteln (9, 10) entspricht.

16. Formmeßmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest die Säule (20) als Hohlkörper ausgebildet ist.

17. Formmeßmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die an der Säule (20) vorgesehenen zweiten Führungsmittel (39) vertikale Führungsbahnen (52, 53, 54, 55) aufweisen, die im Bereich der freien Breitseite (56) und auf einer daran anschließenden Stirnseite (21) der Säule angeordnet sind.

18. Formmeßmaschine nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß von den im wesentlichen parallel zueinander ausgerichteten Führungsbahnen wenigstens eine (52) auf der der Maschinenbettrückseite zugewandte Stirnseite (21) der Säule (20) angeordnet ist.

19. Formmeßmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens einer der Verschiebeschlitten (19; 40; 41) nach Art eines hohlen Gehäuses unter Verwendung von miteinander verbundenen dünnen plattenförmigen Elementen und/oder Streben aufgebaut ist.

20. Formmeßmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß auf dem zweiten Verschiebeschlitten (40) ein in

Richtung einer dritten Koordinatenachse (R) verfahrbarer dritter Verschiebeschlitten (41) gelagert ist, der den Ausleger (42) trägt und dem an dem zweiten Verschiebeschlitten (40) angeordnete dritte Führungsmittel (70) zugeordnet sind.

21. Formmeßmaschine nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Führungsmittel für den dritten Verschiebeschlitten (41) ein im Querschnitt im wesentlichen dreieckförmiges Führungsteil (70) aufweisen, das in winklig zueinander verlaufenden Ebenen liegende Führungsbahnen (71, 72) trägt und von dem dritten Verschiebeschlitten (41) zumindest teilweise übergriffen ist, der an diskreten Lagerstellen (XIV—XVIII) auf den Führungsbahnen (71, 72) abgestützt ist.

22. Formmeßmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die jeweilige Stelleinrichtung an dem zugeordneten Verschiebeschlitten (19; 40; 41) in der Nähe des Massen- und Reibungsschwerpunktes des von dem Schlitten getragenen Systems angreifend ausgebildet ist.

23. Formmeßmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens einer der Verschiebeschlitten (19; 40; 25; 41) und/oder die Säule (20) und/oder der Ausleger (42) wenigstens teilweise aus einem Material kleinen spezifischen Gewichtes, beispielsweise Leichtmetall oder gegebenenfalls faserverstärktem Kunststoffmaterial hergestellt ist bzw. sind.

24. Formmeßmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausleger (42) nach Art eines starren Hohlprofils ausgebildet ist.

25. Formmeßmaschine nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausleger (42) an dem dritten Verschiebeschlitten (41) über eine Kollisions- schutz-Sicherungseinrichtung gelagert ist.

26. Formmeßmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Maschinenbett (1) in der Draufsicht im wesentlichen L-förmig ausgebildet ist und daß die Werkstückaufnahme (7) im Bereich eines Schenkels des L angeordnet ist und die ersten Führungsmittel (9, 10) an der Rückseite des Maschinenbettes im Bereich des anderen Schenkels des L vorgesehen sind.

27. Formmeßmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sie ein eigenes von den Führungsmitteln und den Stelleinrichtungen entkoppeltes Bezugssystem zur Bahnkorrektur an den Führungen aufweist, das maßgenaue längliche Normale (81, 82, 83) enthält, die parallel zu den einzelnen Koordinatenachsen (Y, Z, R) der Verschiebeschlitten (19; 40; 41) ausgerichtet angeordnet sind und die von auf den Führungsmitteln verfahrbaren Teilen laufend abtastbar sind.

28. Formmeßmaschine nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest mit dem Maschinenbett (1) und der Säule (20) Normale (81, 82) von Lager- und Führungskräften im wesentlichen frei gehalten verbunden sind, daß die Normale (81, 82) über ihnen starr zugeordnet auf eine Relativbewegung der Normale (81, 82) zueinander ansprechende Sensoren miteinander gekoppelt sind, durch die eine solche Relativbewegung nach Größe, Art und Richtung feststellbar ist und die entsprechende La- gesignale an einen Rechner abgeben, der das Meß-

ergebnis oder die jeweilige Lage des Tastkopfes (43) im Raum korrigierende Korrekturgrößen errechnet.

29. Formmeßmaschine nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß an dem zweiten Verschiebeschlitten (40) ebenfalls ein parallel zu der entsprechenden Koordinatenachse (R) ausgerichtet es Normal von Lager- und Führungskräften im wesentlichen frei gehalten befestigt ist, das mit dem an der Säule (20) angeordneten Normal (82) über entsprechende Sensoren (94a—94e) gekoppelt ist, die ausgangsseitig mit dem Rechner verbunden sind.

30. Formmeßmaschine nach Anspruch 28 oder 29, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoren an einem Normal (81, 82, 83) jeweils wenigstens zwei winklig zueinander stehende Seiten des Normales abtastend voneinander beabstandet angeordnet sind.

31. Formmeßmaschine nach einem der Ansprüche 27 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Normale (81, 82) als Hohlprofil schienen oder als Lineale ausgebildet sind.

Hierzu 14 Seite(n) Zeichnungen

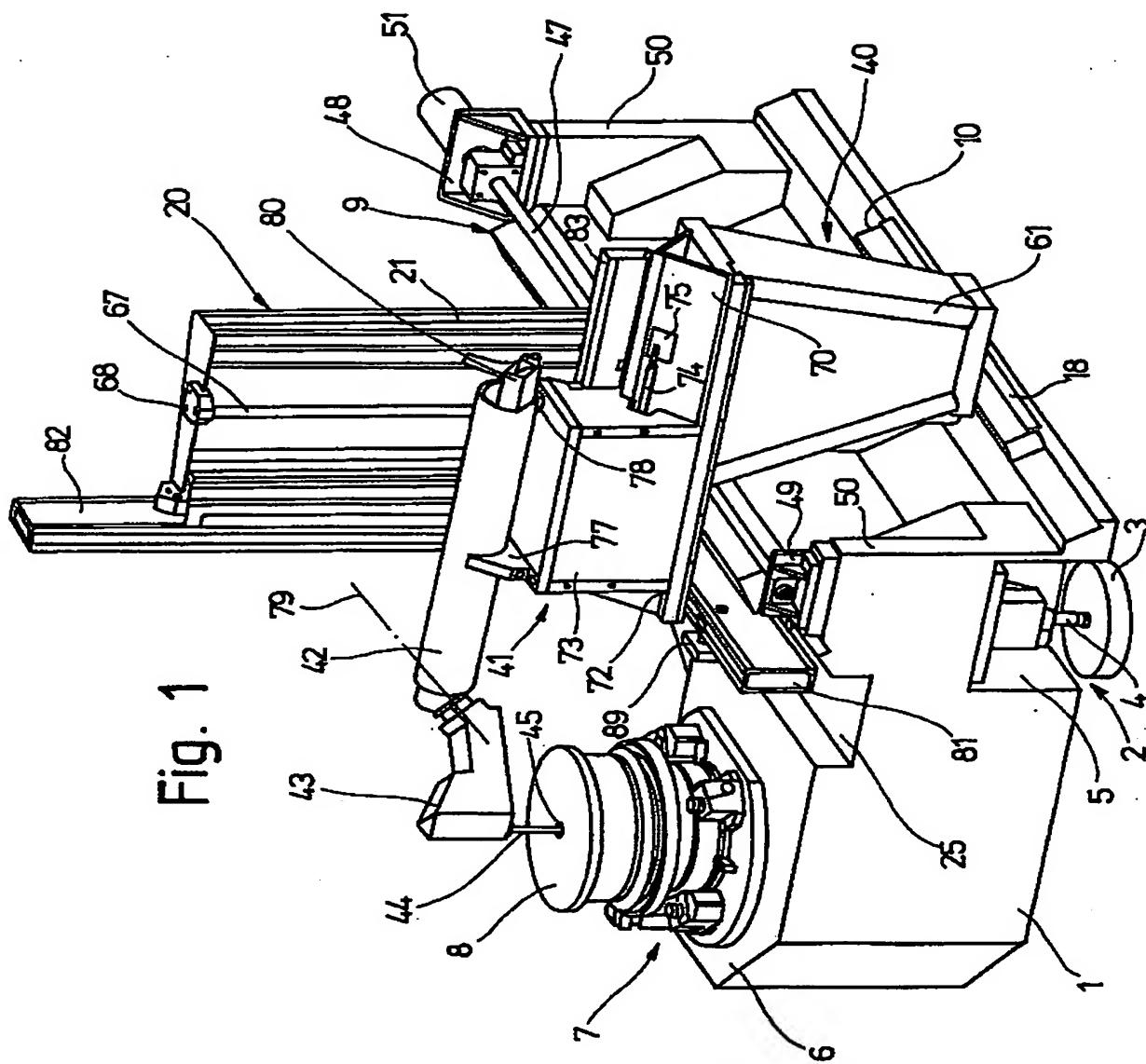
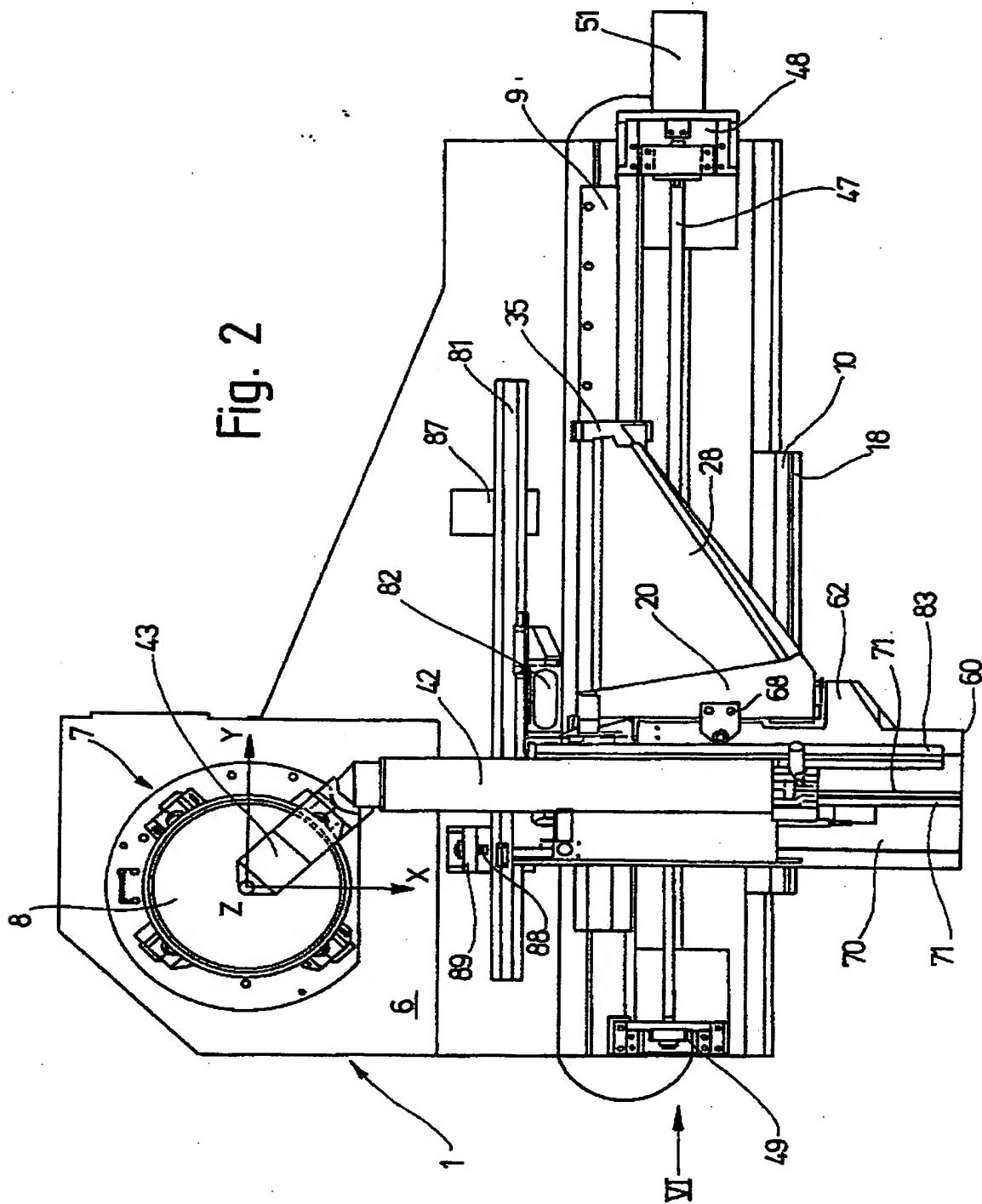
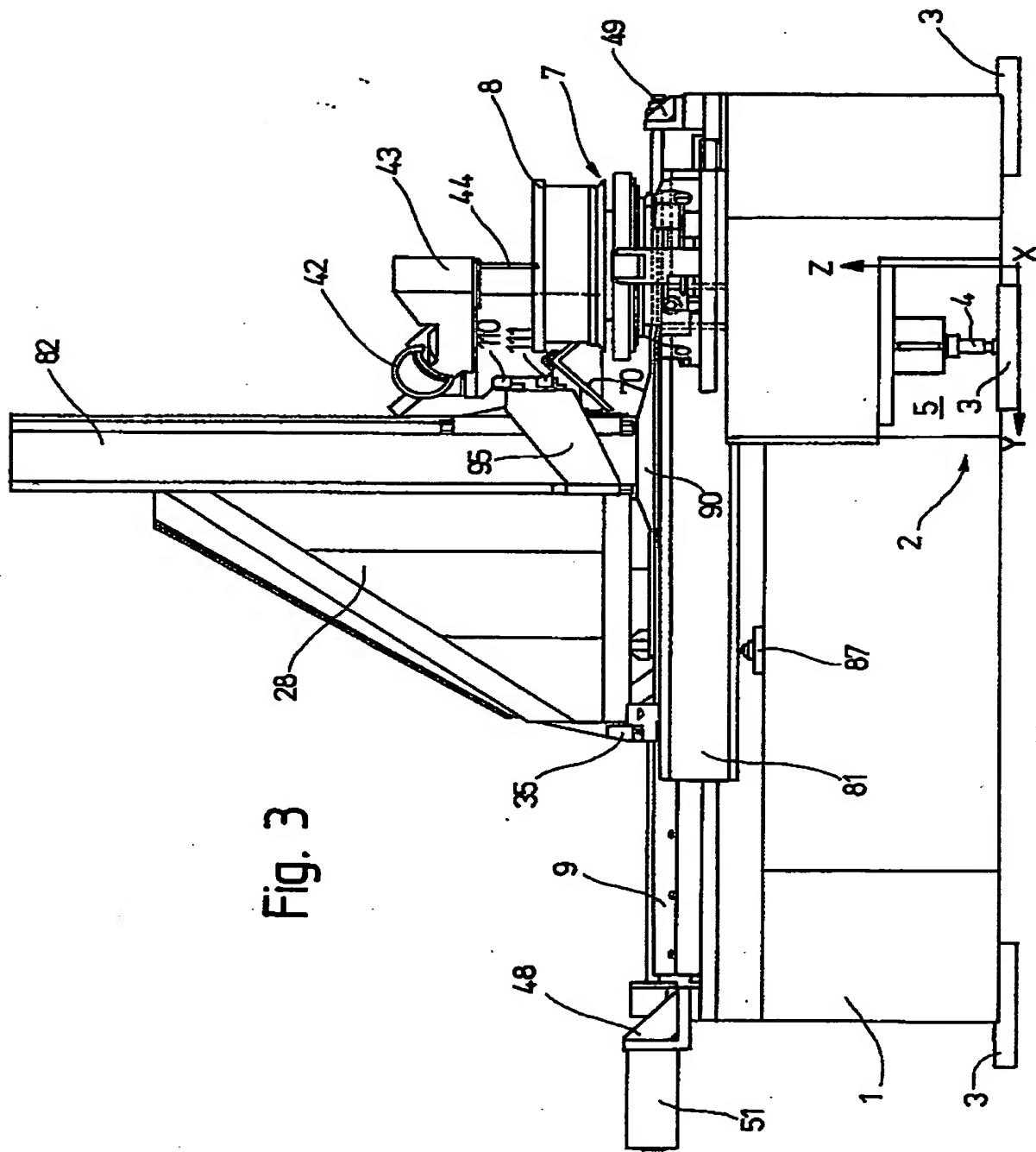
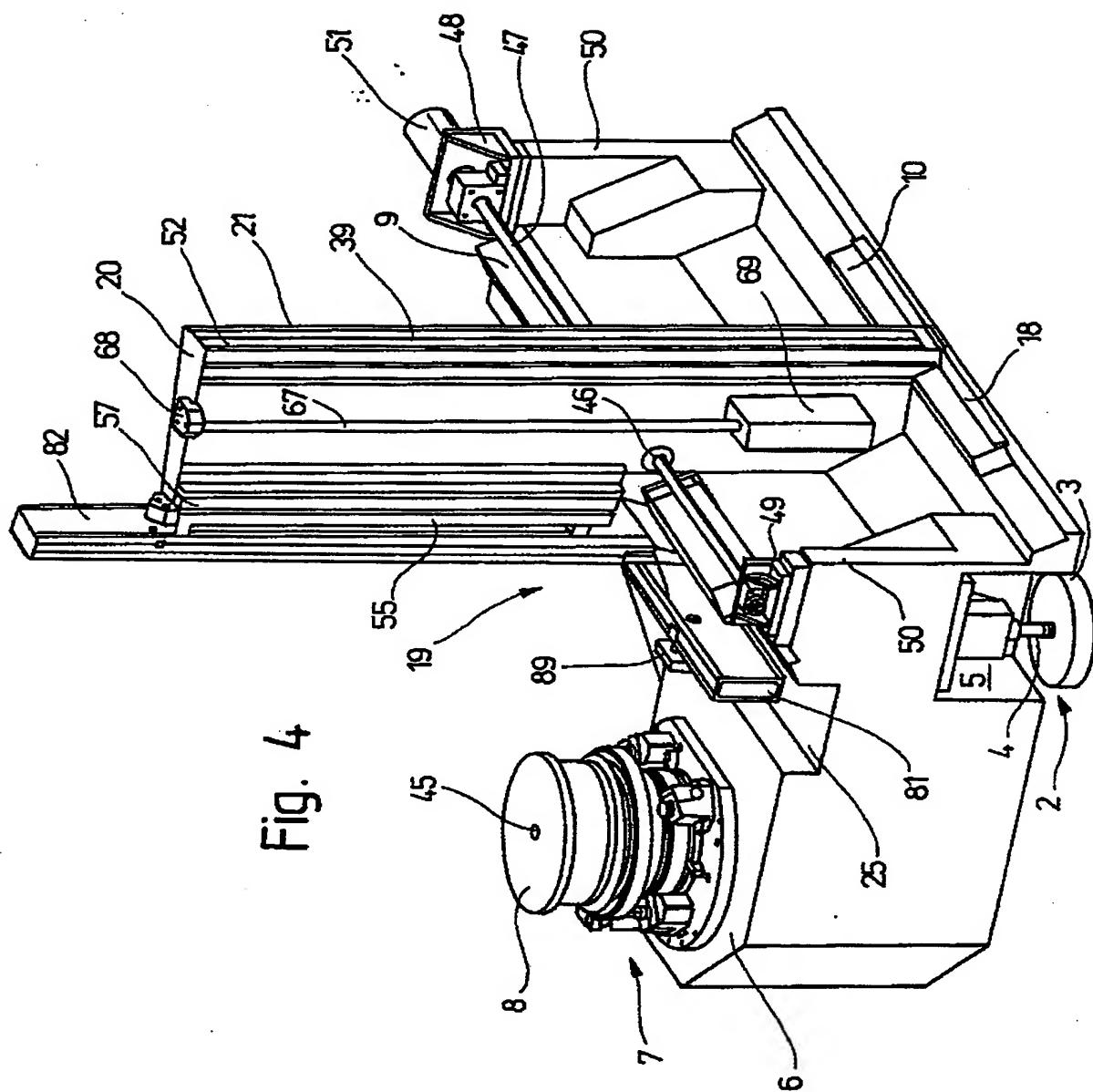


Fig. 2





三  
四



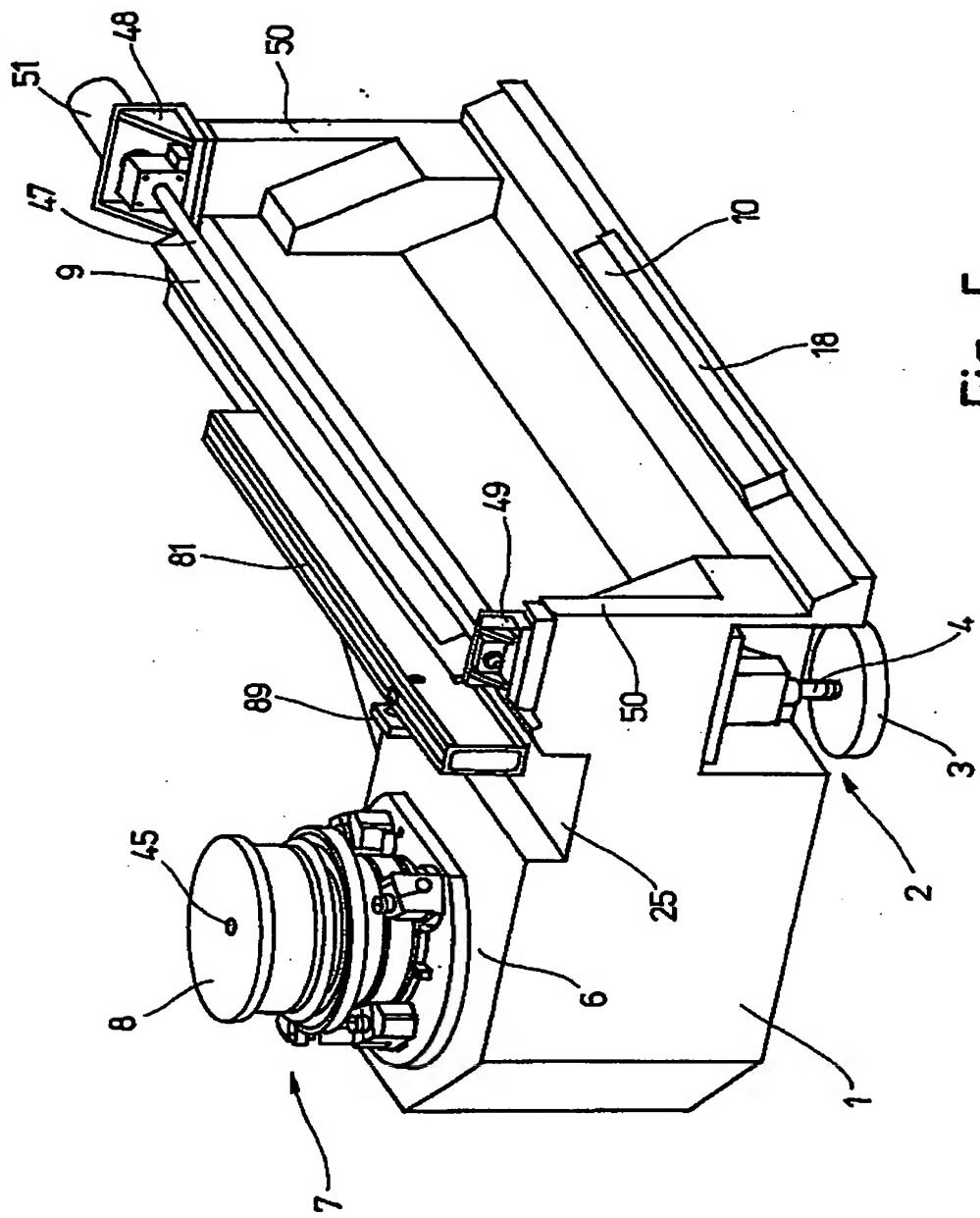


Fig. 5

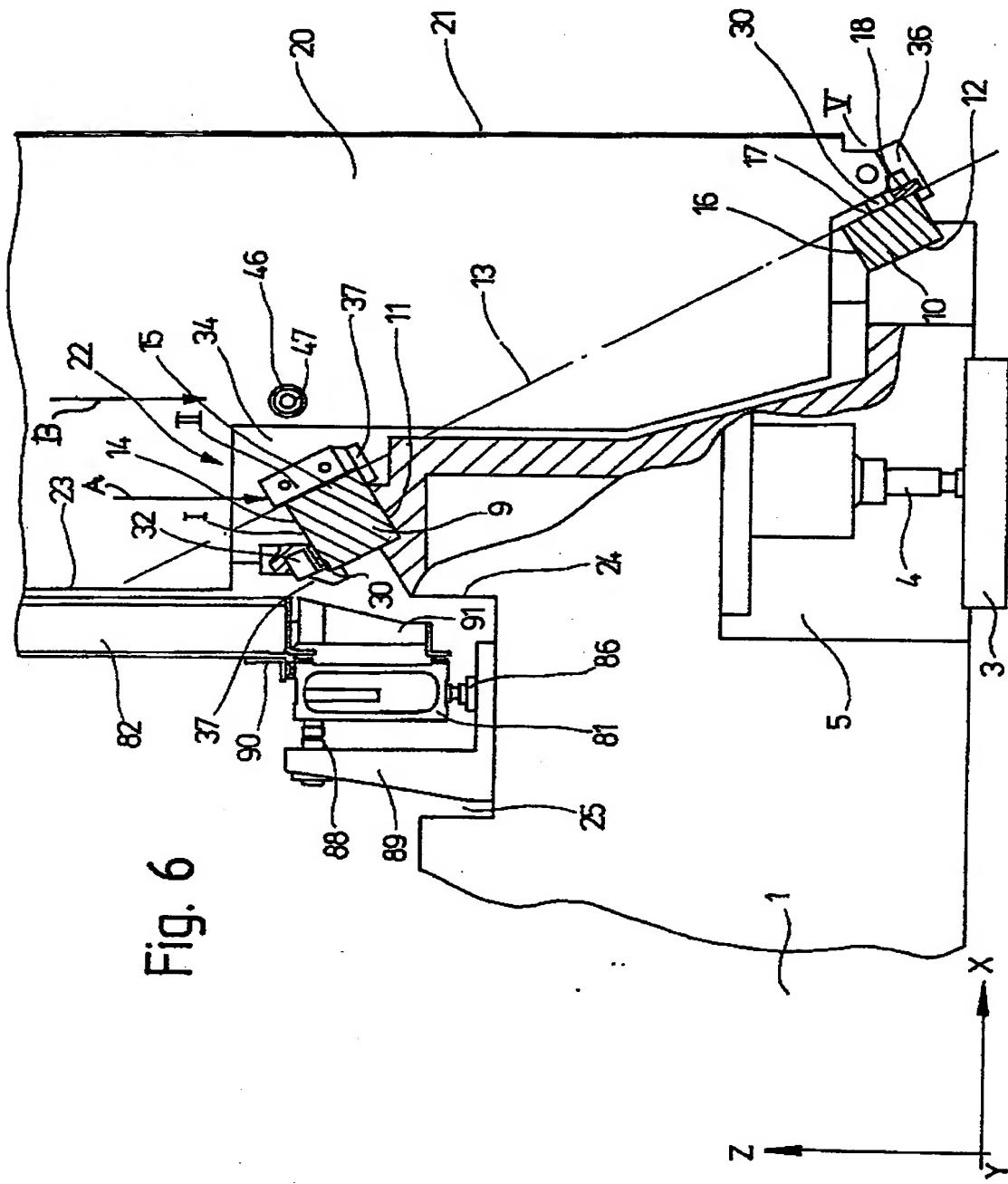


Fig. 6

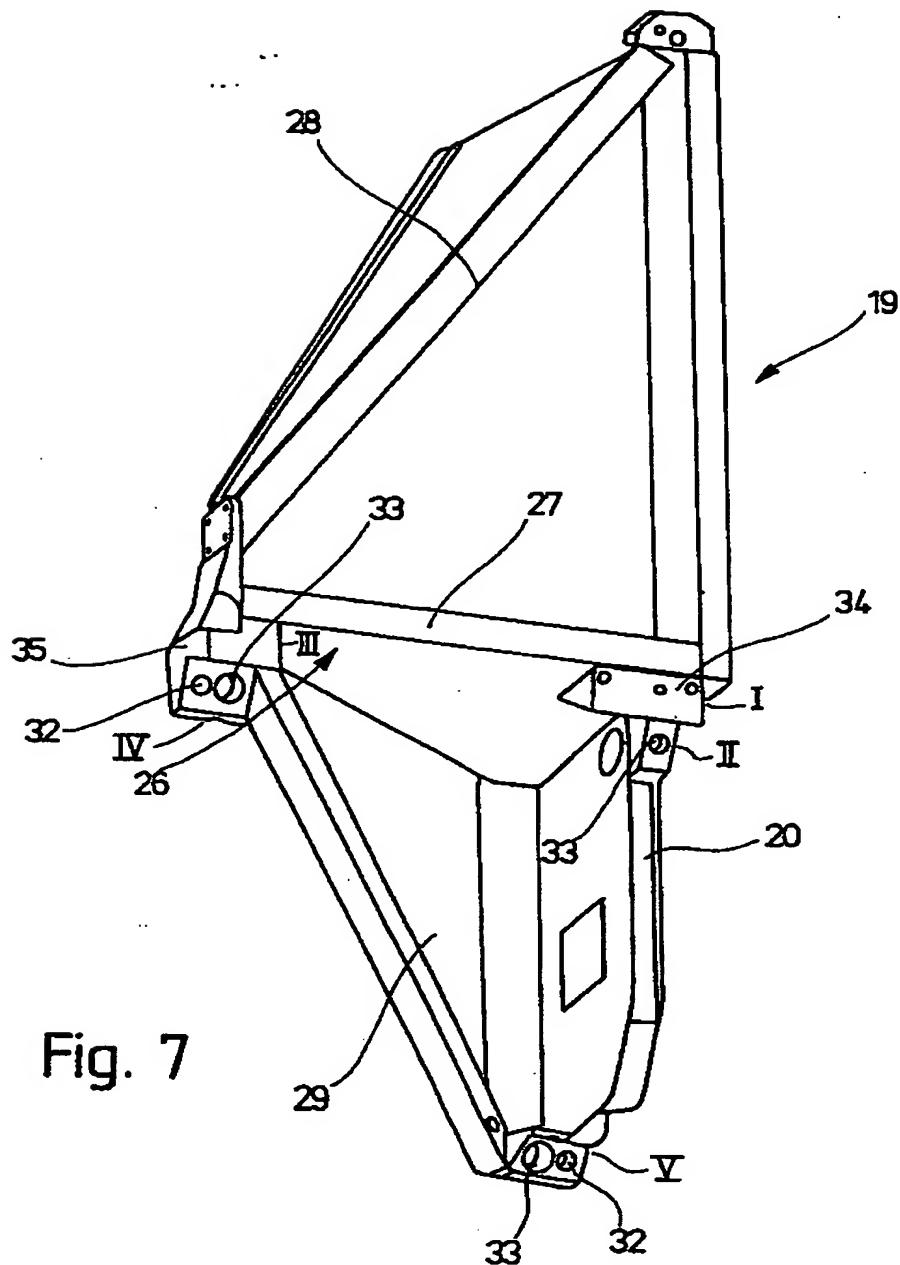
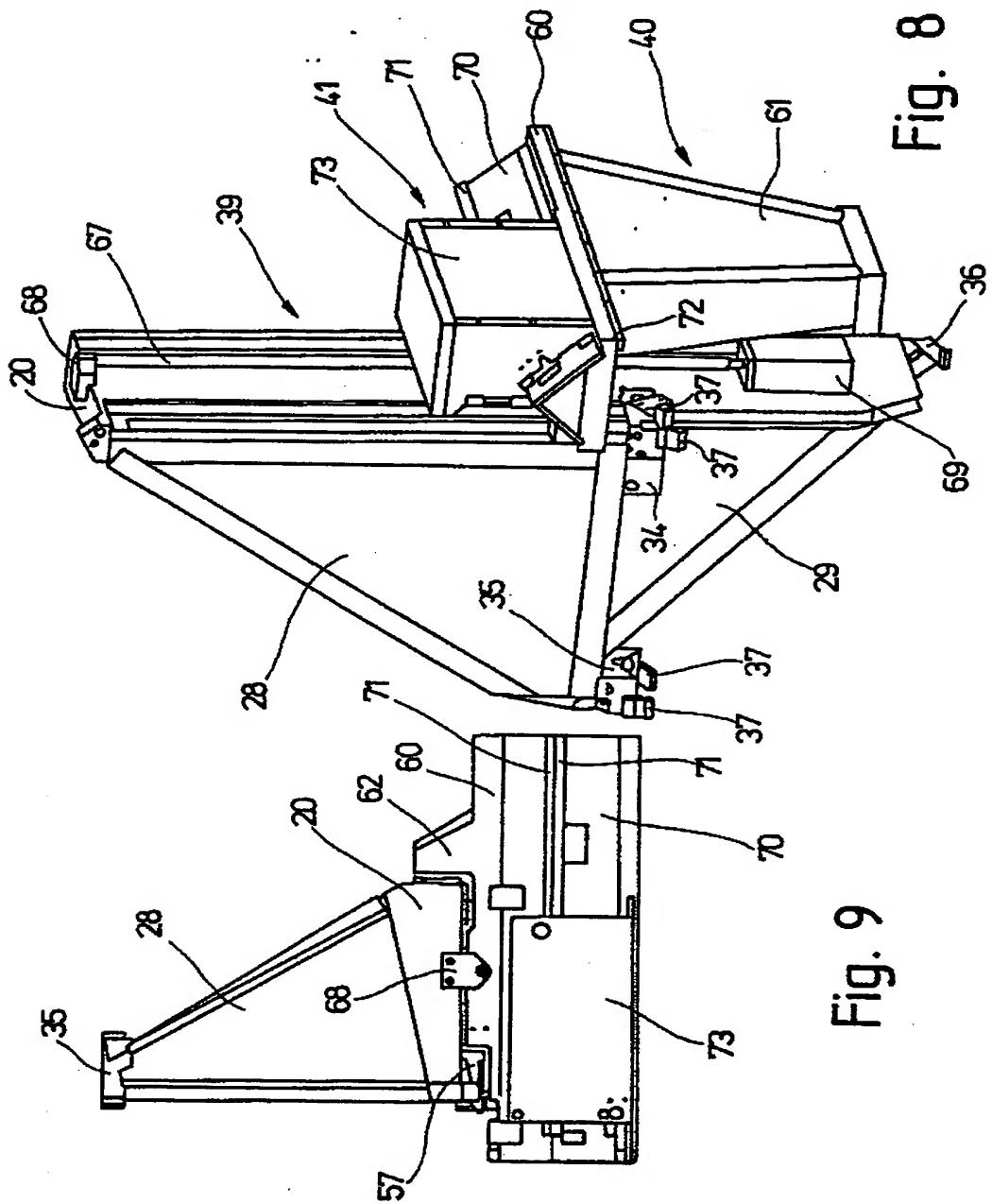
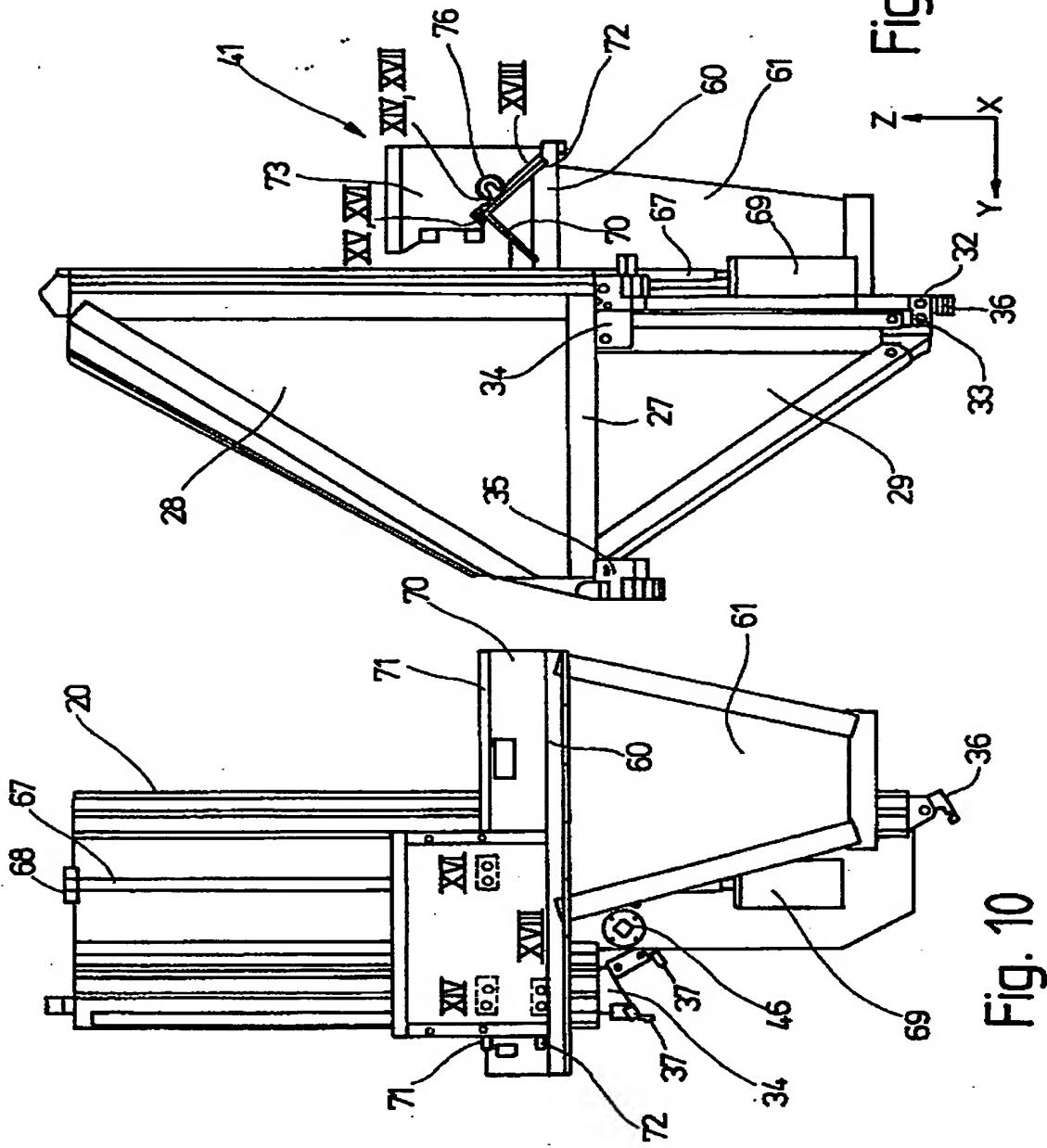
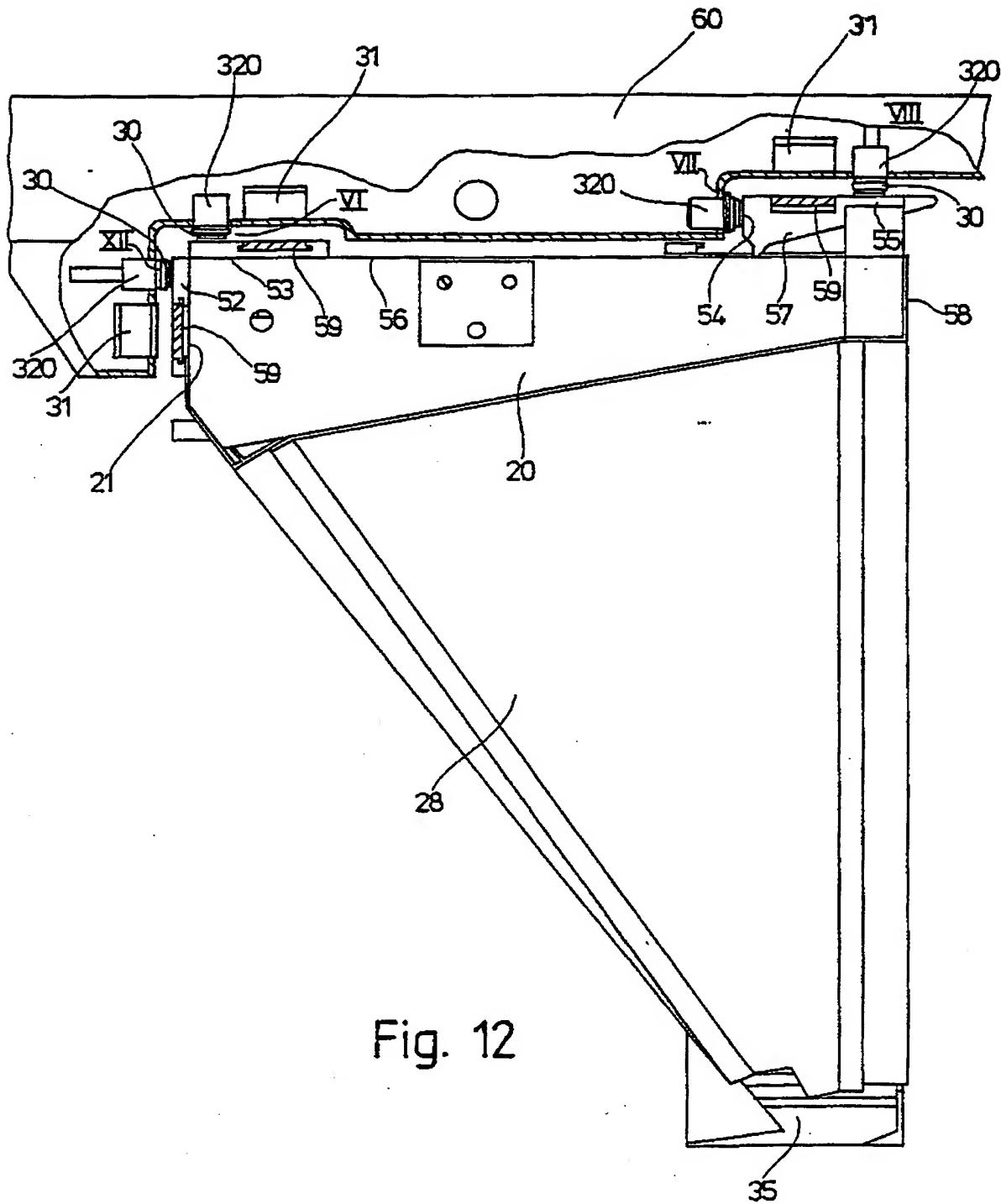


Fig. 7







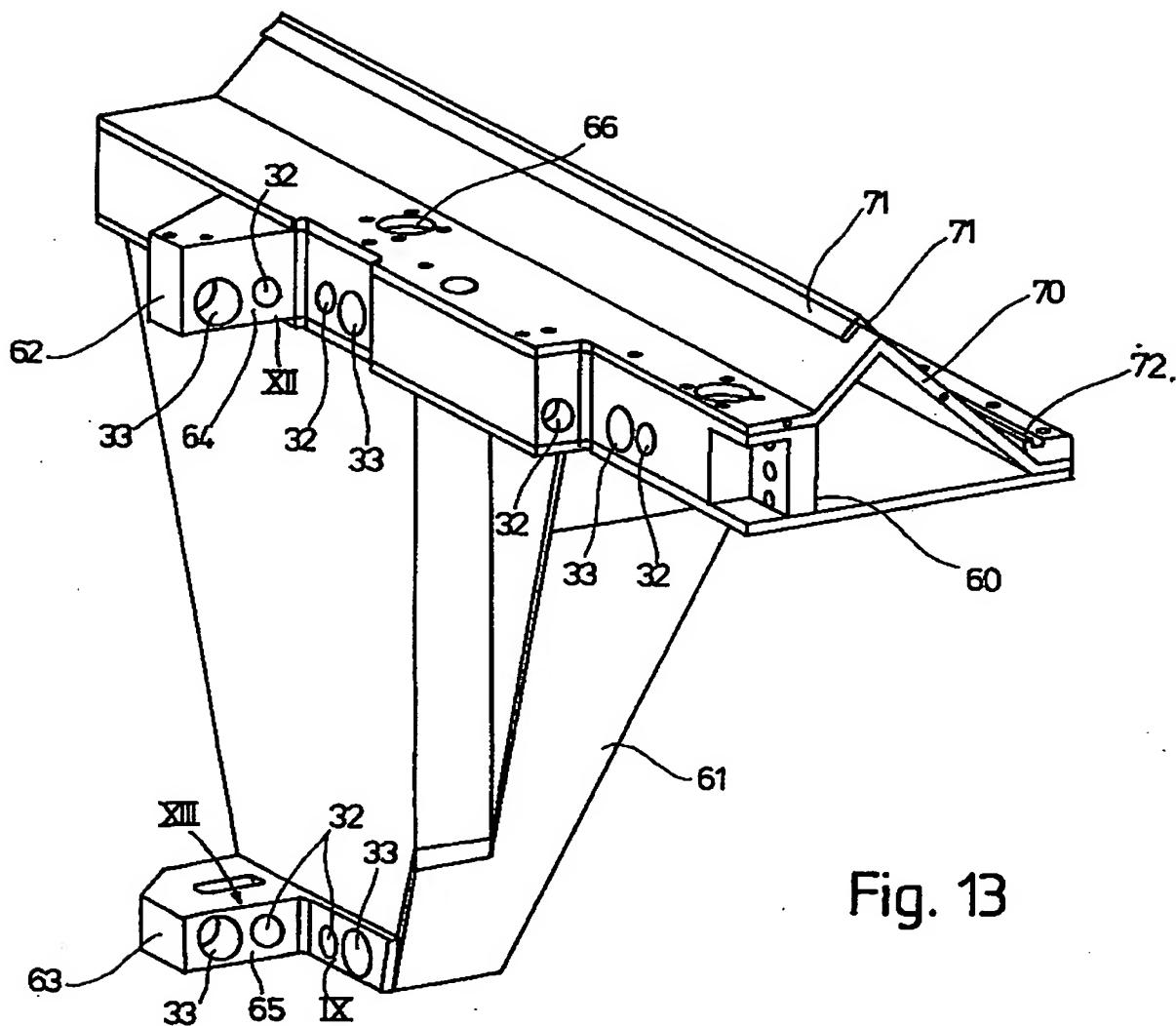


Fig. 13

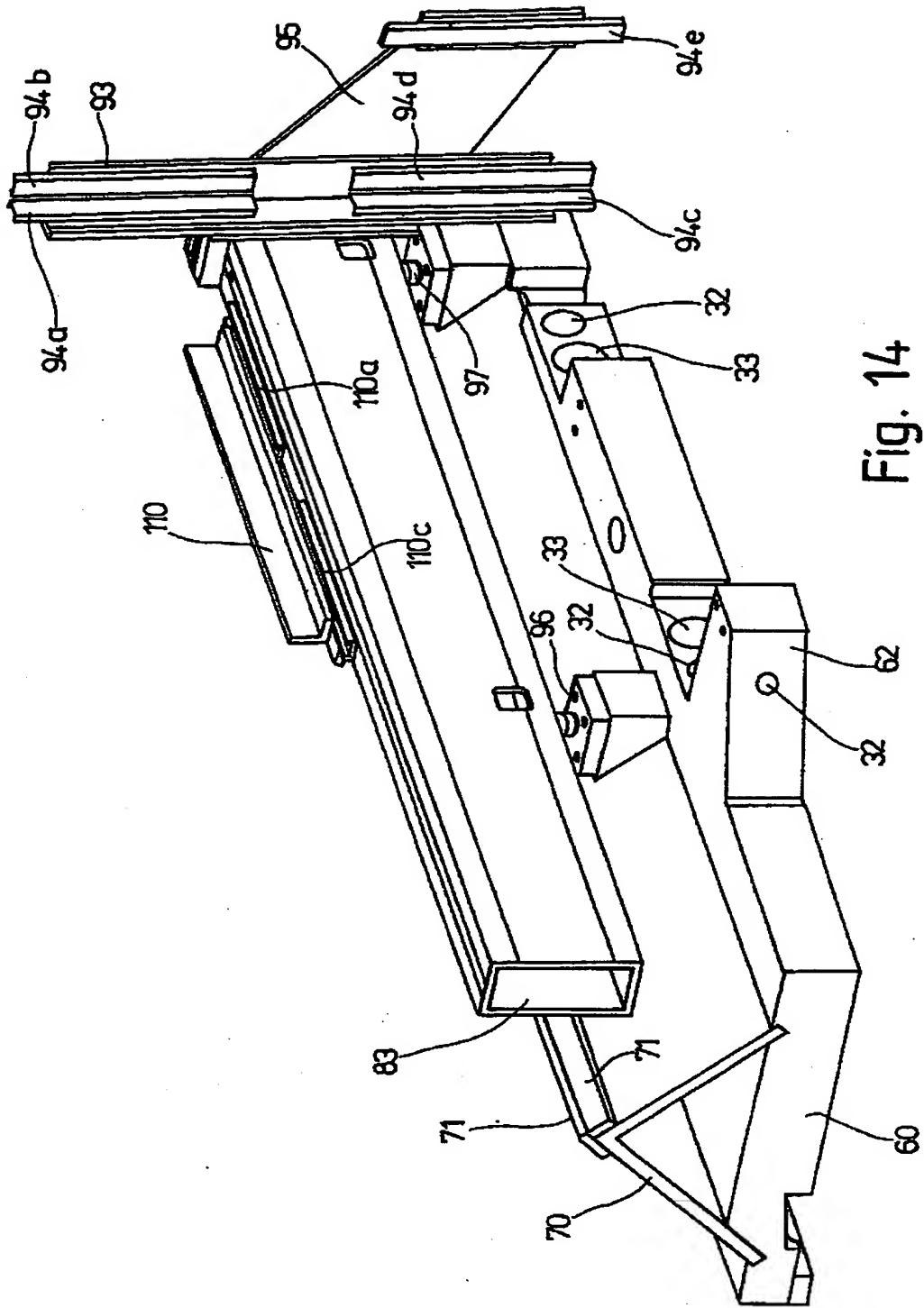


Fig. 14

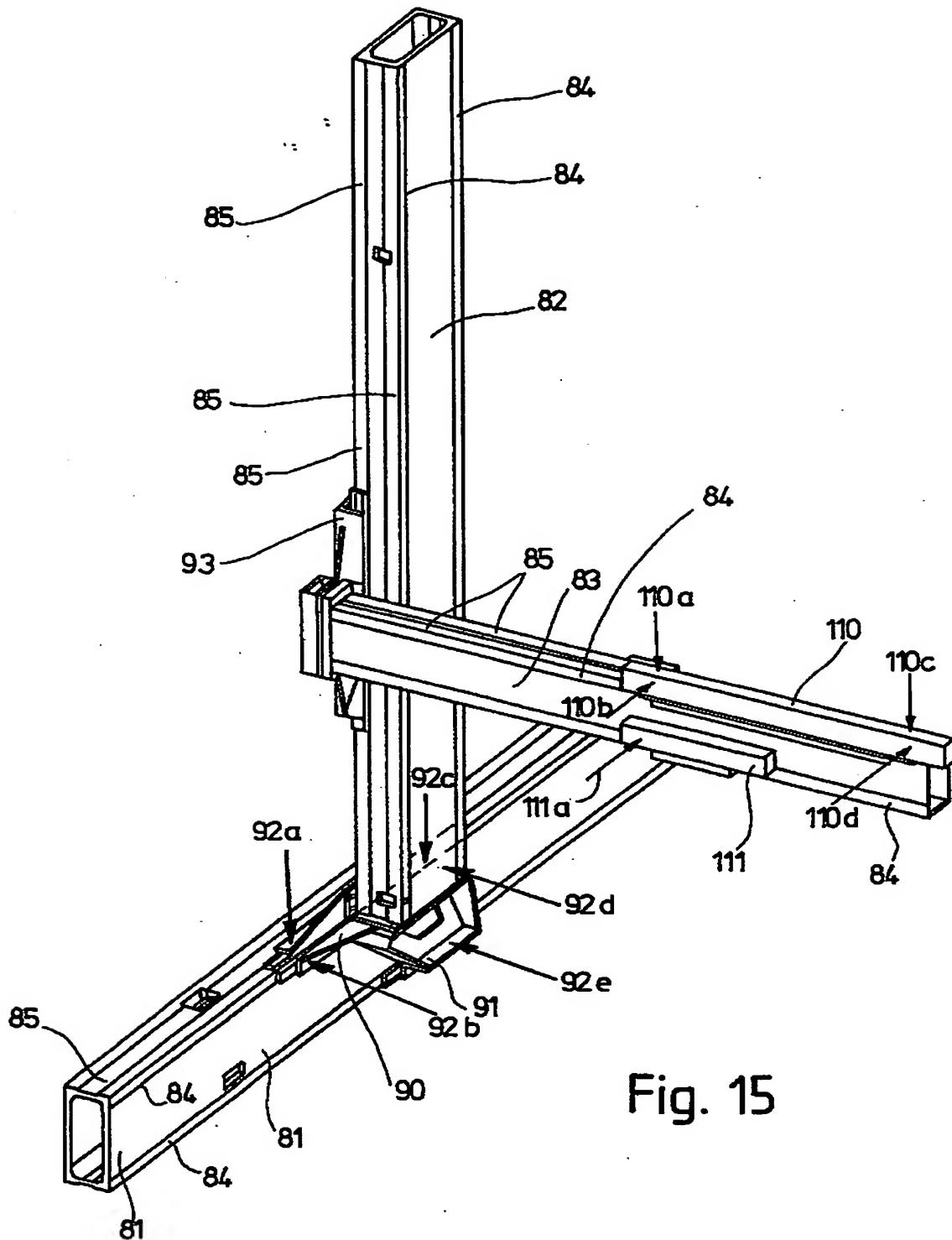


Fig. 15

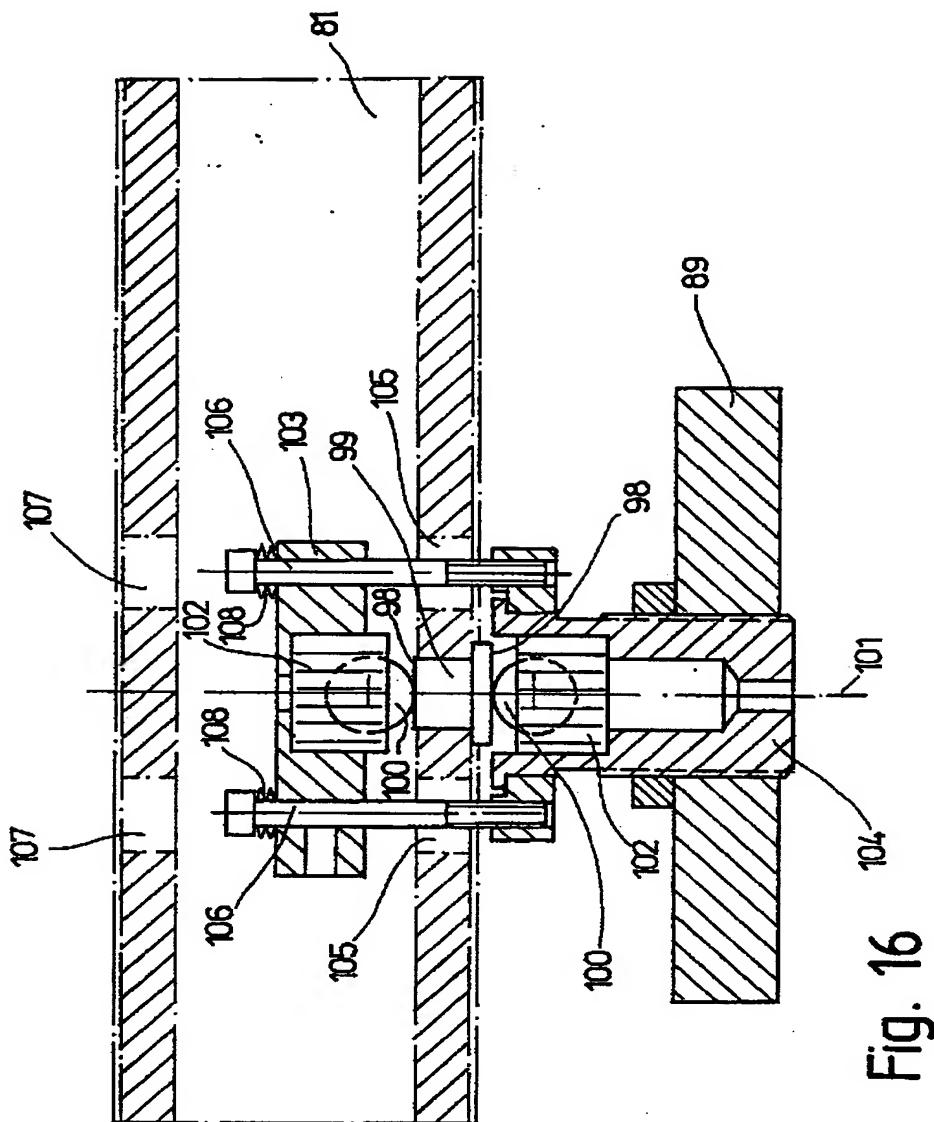


Fig. 16